



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

### About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



## Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

## Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

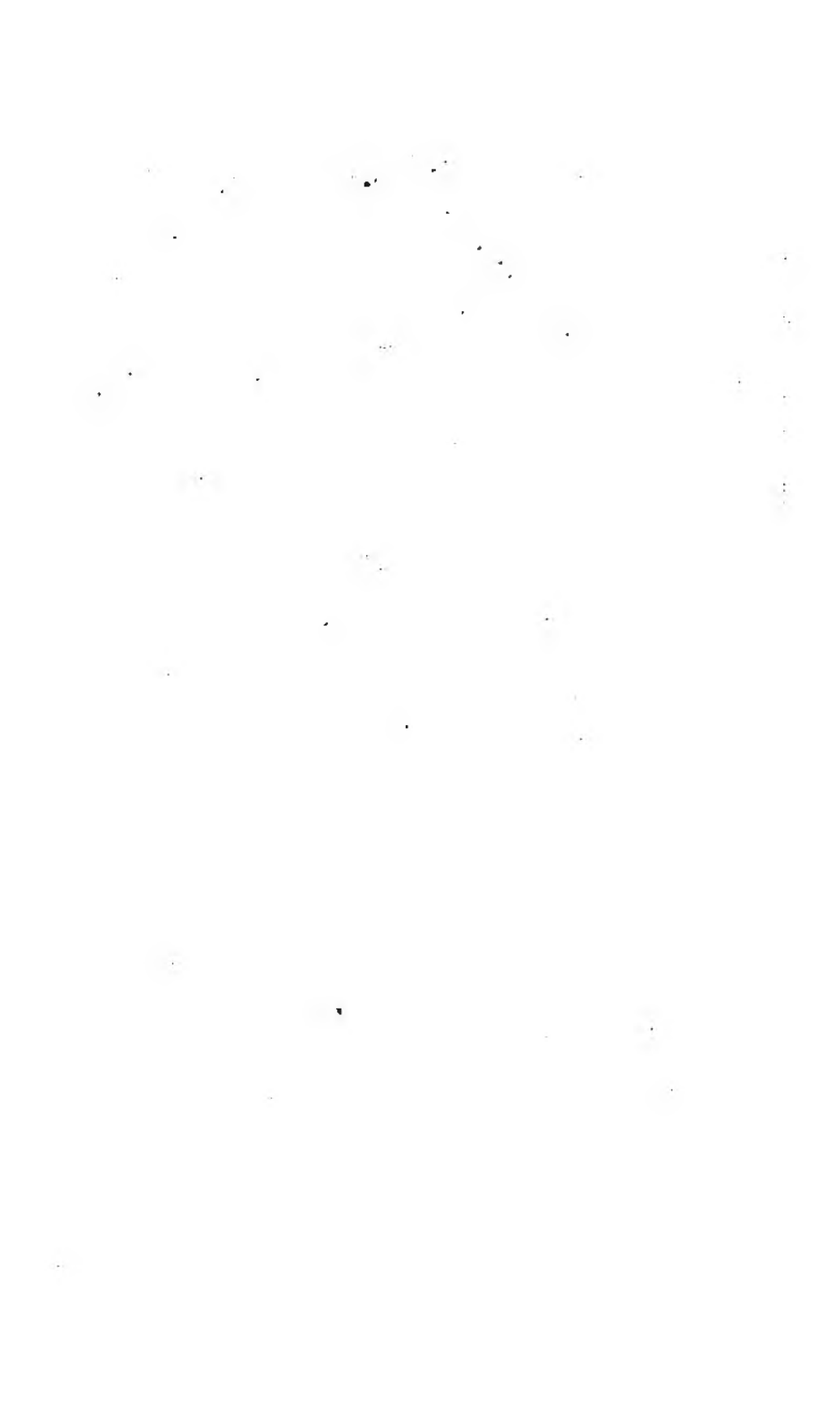
## Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.

NYPL RESEARCH LIBRARIES



3 3433 06640629 3

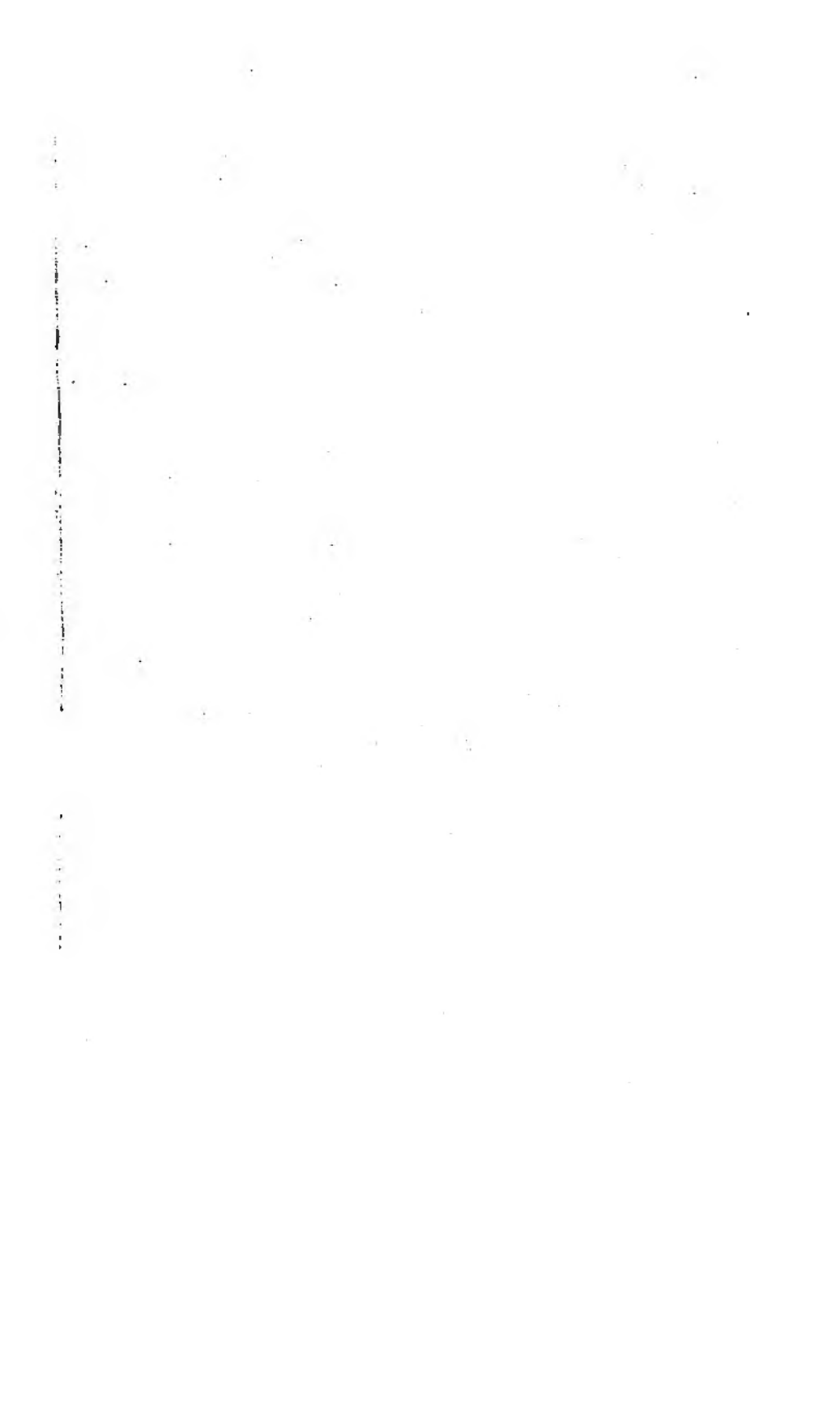






4-11  
11/2/22







257.260

LEHRBUCH

(1903)

# ELEKTROTECHNIK

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG

DER

ELEKTRISCHEN ANLAGEN AUF SCHIFFEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. JOHS. J. C. MÜLLER

ORDENLEHRER AN TECHNISCHEM HOCHSCHULE HANSESTADT BREMEN



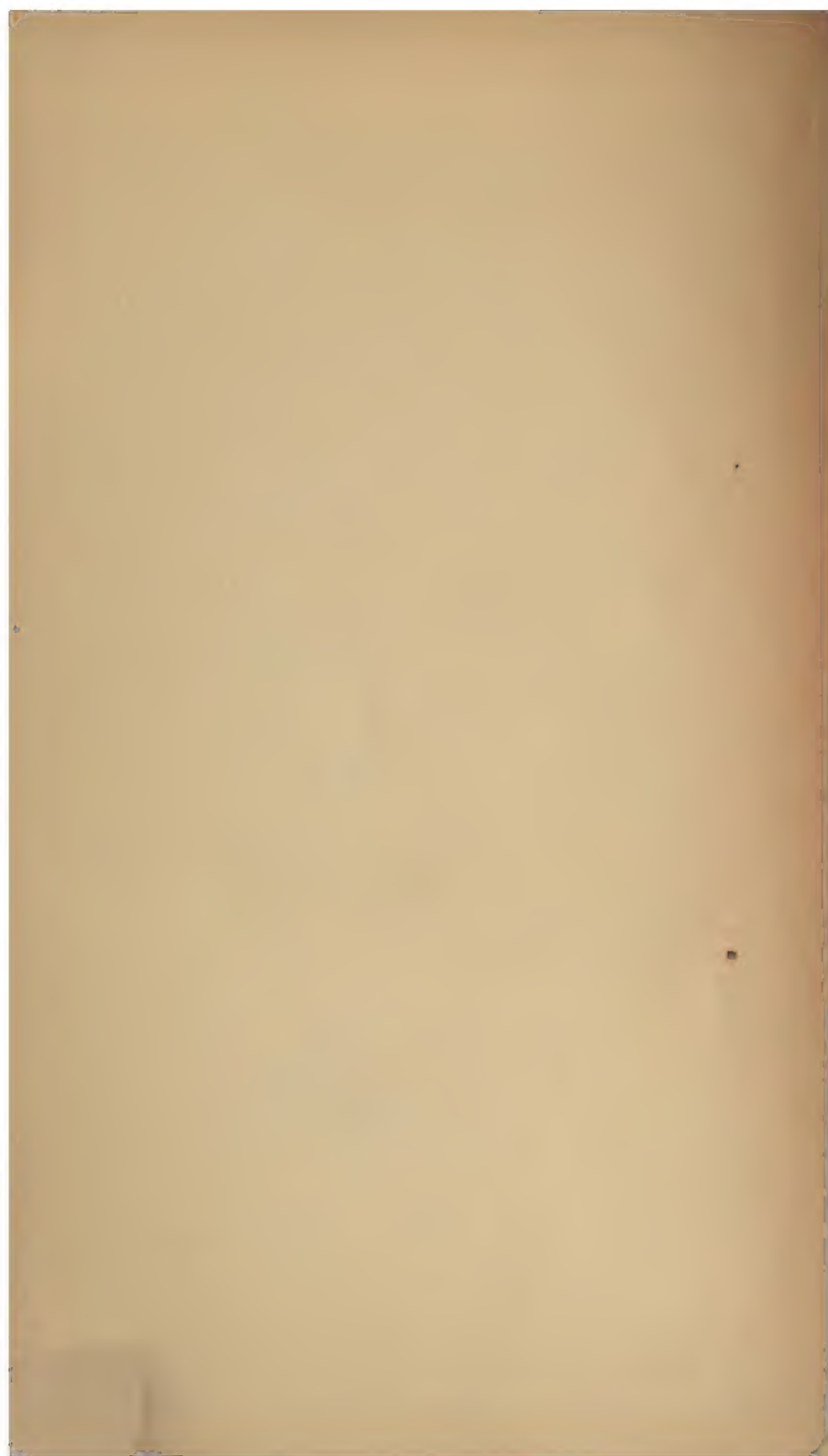
MIT 410 EINGEREICHNETEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1903





LEHRBUCH

# ELEKTROTECHNIK

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG  
DER  
ELEKTRISCHEN ANLAGEN AUF SCHIFFEN

BEGRÜNDET VON

VON

DR. JOH. J. C. MÜLLER

ORDENTL. AMTSGERICHTS-RATH, DR. I. RECHTSWISSENSCHAFT, GIESSEN



MIT 11 TAFELN VON KUPFER UND ZINN

BRUNNEN SCHWELIG

VERLAG DER BRUNNEN-SCHWELIG-DRUCKEREI IN BREMEN

1905

## ANKÜNDIGUNG.

---

Das vorliegende Lehrbuch ist aus den Vorträgen entstanden, die der Verfasser seit mehreren Jahren in den Oberklassen der Seemaschinen- und Maschinenbauschule des Technikums zu Bremen gehalten hat. Für die Auswahl und für die Anordnung des Lehrstoffes wurde das für die genannten Oberklassen aufgestellte Unterrichtsprogramm zu Grunde gelegt. An mehreren Stellen sind jedoch auch Erweiterungen und Ergänzungen hinzugefügt, damit das Lehrbuch zugleich zur Einleitung in das Studium spezieller elektrotechnischer Werke dienen kann. Im besonderen ist Rücksicht auf den Betrieb der Elektromotoren, der Beleuchtungsanlagen und Signalanlagen an Bord der großen Passagierdampfer genommen, wobei besonders die Dampfer des Norddeutschen Lloyd und der Hamburg-Amerika-Linie Berücksichtigung gefunden haben. Auch ist an vielen Stellen auf die Einrichtung elektrischer Anlagen an Bord der Kriegsschiffe hingewiesen, soweit es nach den in Zeitschriften gegebenen Beschreibungen möglich war. Bei der vielfachen Verwendung des elektrischen Stromes an Bord der Dampfer ist es sehr wünschenswert, ein Lehrbuch den Maschinisten zu geben, das als Handbuch im Unterrichte wie auch beim Selbststudium zur Einführung in die Elektrotechnik dient und eine Beschreibung der Wirkungsweise elektrischer Maschinen und Apparate, sowie der elektrischen Anlagen enthält.

Braunschweig, im Januar 1903.

**Friedrich Vieweg und Sohn.**

LEHRBUCH  
DER  
ELEKTROTECHNIK

---





# LEHRBUCH DER ELEKTROTECHNIK

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG  
DER  
ELEKTRISCHEN ANLAGEN AUF SCHIFFEN

HERAUSGEGEBEN  
VON  
<sup>canne</sup>DR. JOH<sup>ue</sup>S, J. C. MÜLLER  
OBERLEHRER AM TECHNIKUM DER FREIEN HANSESTADT BREMEN

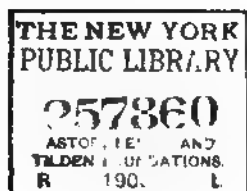
---

MIT 519 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

---

BRAUNSCHWEIG  
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1903  
A.F.



---

Alle Rechte, namentlich dasjenige der Übersetzung in fremde Sprachen  
vorbehalten

---

## VORWORT.

Das vorliegende Lehrbuch ist aus den Vorträgen entstanden, die ich seit mehreren Jahren in den Oberklassen der Seemaschinistenschule und der Maschinenbauschule des Technikums zu Bremen gehalten habe. Für die Anlage des Buches war von vornherein die Verteilung des Lehrstoffes maßgebend, der für den Unterricht in den genannten Klassen vorgeschrieben ist.

Die Oberklasse der Seemaschinistenschule wird von solchen Maschinisten besucht, die das Patent erster Klasse bereits erworben haben. Die ausgedehnten Maschinenanlagen auf den grossen Passagierdampfern, insbesondere auf den Schnelldampfern, mit ihren zahlreichen Hilfsmaschinen, unter denen sich auch viele Elektromotoren befinden, erfordern eine weitere Ausbildung der Maschinisten, die das Patent I. Klasse erworben haben und denen die Leitung des Maschinenbetriebes übertragen wird. Aus diesem Grunde ist auf Veranlassung des Norddeutschen Lloyd in mehreren Jahren am Technikum der freien Hansestadt Bremen die Oberklasse in der Seemaschinistenschule den drei bereits vorhandenen Klassen dieser Schule hinzugefügt worden. Der erfolgreiche Besuch dieser Oberklasse gewährt den Maschinisten die Aussicht auf Anstellung als Ingenieur auf einem der Passagier- und Schnelldampfer des Norddeutschen Lloyd. Ähnliche Verhältnisse bestehen auch für die Maschinisten der Hamburg-Merka-Linie.

Die Oberklasse der Maschinenbauschule zerfällt in drei Abteilungen, und zwar für Schiffsmaschinenkunde, für allgemeinen Maschinenbau und für Elektrotechnik. Die letzte Abteilung

nimmt neben den speziellen elektrotechnischen Vorträgen auch teil an den elektrotechnischen Vorträgen, die der ganzen Oberklasse gehalten werden und die auch eine besondere Berücksichtigung der elektrischen Anlagen an Bord der Dampfer erfordern. Das vorliegende Lehrbuch behandelt den Gegenstand so weit, wie er für beide Oberklassen gemeinsam zu fassen ist. Der Unterricht beider Oberklassen ist dabei ganz voneinander getrennt, und naturgemäß ist in den Vorträgen für die Oberklasse der Maschinenbauschule auch auf solche Einrichtungen elektrischer Beleuchtungs- und Kraftübertragungsanlagen und auf mehrere in diesen Anlagen benutzte Apparate Rücksicht zu nehmen, auf die ich bei dem ausgesprochenen Zwecke des Buches nicht einzugehen brauchte.

In dem Unterrichte der genannten Oberklassen handelt es sich zunächst um eine kurze Darstellung der physikalischen Grundgesetze, die ausreicht, um auf ihr die Beschreibung der Wirkungsweise elektrischer Maschinen und Apparate aufzubauen. Alle Einzelheiten der Konstruktion der elektrischen Maschinen mußten von vornherein als nicht zum Lehrstoff gehörig ausgeschlossen bleiben. Die Schüler, für die das vorliegende Lehrbuch bestimmt ist, haben elektrische Anlagen zu überwachen und auch bei Neubauten als Baubeaufsichtigende Anweisung für die Ausführung elektrischer Anlagen zu geben. Um jedoch auch etwas weiter gehenden Forderungen Rechnung zu tragen, und um den Schüler auch in den Stand zu setzen, ausführlichere Lehrbücher der Elektrotechnik mit Erfolg zu studieren, sind an mehreren Stellen Zusätze gemacht worden, die über den eigentlichen Umfang des vorgeschriebenen Lehrstoffes hinausgehen. Zur Beschränkung des Umfanges des Buches habe ich diese Teile, wie auch andere, die lediglich eine Beschreibung von Maschinen und elektrischen Apparaten enthalten, in kleinem Drucke erscheinen lassen.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, der Direktion des Norddeutschen Lloyd meinen herzlichen Dank für ihr stets bereitwilliges Entgegenkommen auszusprechen, das mich in den Stand setzte, die sämtlichen elektrischen Anlagen auf den meisten Dampfern der Flotte des Norddeutschen Lloyd zu besichtigen und auch während der Fahrt in ihrer zweckmäßigen Einrichtung

kennen zu lernen. Den Herren Oberinspektor Beul, Inspektor Heise und Ingenieur Albrecht zu Bremerhaven sage ich noch besonders meinen Dank für die bereitwillige Unterstützung, die ich bei den Besichtigungen der Dampfer stets gefunden habe. Besonders wertvoll sind mir viele Mitteilungen über die Installation an Bord gewesen, welche die Union-Elektrizitätsgesellschaft Berlin, die Firma A. Nissen u. Co. in Hamburg sowie auch die Hanseatischen Elektrizitätswerke Siemens u. Halske in Hamburg mir gemacht haben. Allen Firmen, die durch Mitteilungen und durch leihweise Überlassung von Clichés die Herausgabe des Lehrbuches unterstützt haben, insbesondere auch der Verlagsbuchhandlung, die sehr eifrig bestrebt gewesen ist, das Lehrbuch in vorzüglicher Weise auszustatten, sage ich meinen besten Dank.

Bremen, im Dezember 1902.

Dr. Johs. Müller.





# INHALTSÜBERSICHT.

## Erster Abschnitt.

### Die physikalischen Grundgesetze.

#### Erstes Kapitel.

##### Magnetismus.

	Seite
§ 1. Eigenschaften des Magneten und Formen desselben . . . . .	1
§ 2. Pole des Magneten . . . . .	2
§ 3. Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung . . . . .	2
§ 4. Magnetische Induktion oder Influenz . . . . .	2
§ 5. Vorstellung über das Wesen des Magnetismus . . . . .	3
§ 6. Das Gesetz von Coulomb . . . . .	5
§ 7. Magnetische Kraftlinien . . . . .	6
§ 8. Magnetischer Kreis. Permeabilität . . . . .	9

#### Zweites Kapitel.

##### Der elektrische Strom und dessen Wirkungen. Die Gesetze von Ohm und Kirchhoff.

§ 9. Das Volta'sche Element . . . . .	10
§ 10. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes. Elektrolyse . . . . .	13
§ 11. Gesetz von Faraday. Knallgas- und Silbervoltameter . . . . .	15
§ 12. Magnetische Wirkungen des Stromes. Strommesser . . . . .	16
§ 13. Das Ohm'sche Gesetz . . . . .	17
§ 14. Anwendung des Ohm'schen Gesetzes auf den geschlossenen Stromkreis . . . . .	21
§ 15. Elektrische Widerstände. Rheostate . . . . .	23
§ 16. Stromverzweigung . . . . .	27
§ 17. Elektrische Energie. Gesetz von Joule . . . . .	30

#### Drittes Kapitel.

##### Elektromagnetismus.

§ 18. Ablenkung der Magnetonadel durch den elektrischen Strom. Multiplikator . . . . .	32
§ 19. Wirkung des magnetischen Feldes auf einen Stromleiter . . . . .	34
§ 20. Das magnetische Feld einer Stromspule. Solenoid . . . . .	35
§ 21. Der Elektromagnet. Magnetische Induktion des Eisens . . . . .	37

	Seite
22. Die Magnetisierungskurve . . . . .	46
23. Der magnetische Kreis. Magnetomotorische Kraft und magnetischer Widerstand . . . . .	41
24. Magnetische Hysterese. Magnetisierungsarbeit . . . . .	44
25. Weston-Strommesser. Milli-Volt- und Ampèremeter von Siemens und Halske. Spannungsmessung . . . . .	45
26. Strom- und Spannungsmesser mit weichem Eisen. (Weicheiseninstrumente) . . . . .	52

#### Viertes Kapitel.

##### Induktion.

27. Grundgesetze. Richtung der induzierten E.M.K. . . . .	54
28. Gesetz von Faraday. Absolute Einheit der E.M.K. . . . .	57
29. Fortsetzung der Induktionsversuche . . . . .	58
30. Selbstinduktion . . . . .	59
31. Induktionsströme in körperlichen Leitern. (Foucaultsche Ströme, Wirbelströme) . . . . .	60

#### Zweiter Abschnitt.

### Die Gleichstrommaschinen.

#### Fünftes Kapitel.

##### Wirkungsweise der Gleichstromdynamos.

32. Die elektrischen Maschinen im allgemeinen . . . . .	63
33. Der Ringanker . . . . .	64
34. Der Trommelanker . . . . .	69
35. Der vierpolige Ringanker mit Parallelschaltung . . . . .	75
36. Der vierpolige Trommelanker mit Parallelschaltung. Ankerwicklungen mit Serienschaltung . . . . .	77
37. Der Ankerkörper. Konstruktion der Ankerwicklung . . . . .	79
38. Vor- und Nachteile des Ring- und Trommelankers . . . . .	83
39. Der Kollektor und die Bürsten . . . . .	84
40. Erregung der Gleichstromdynamos . . . . .	86
41. Die Nebenschlußdynamo . . . . .	89
42. Die Compound- oder Gleichspannungsdynamo . . . . .	97
43. Der Feldmagnet und der magnetische Kreis der Dynamo . . . . .	99
44. Einstellung der Bürsten, Funkenbildung am Kollektor . . . . .	103
45. Ankerrückwirkung . . . . .	105

#### Sechstes Kapitel.

##### Die Gleichstrom-Elektromotoren.

46. Wirkungsweise und Grundgesetze der Motoren . . . . .	107
47. Der Magnetmotor . . . . .	113
48. Der Elektromotor mit Nebenschlußwicklung . . . . .	118
49. Anlaufwiderstände für Nebenschlußmotoren . . . . .	123
50. Andere Methoden der Änderung der Tourenzahl und zwar	
1. durch Hauptstromregulierung . . . . .	124
2. durch Änderung der Betriebsspannung . . . . .	124

## Inhaltsübersicht.

XI

Seite

§ 51.	Umkehranlasser (Wendeanlasser) . . . . .	125
§ 52.	Vergleich der Drehungsrichtung des Ankers bei der Nebenschluß- dynamo und dem Nebenschlußmotor . . . . .	127
§ 53.	Der Hauptstrommotor . . . . .	127
§ 54.	Betriebsverhältnisse und Prüfung der Elektromotoren . . . . .	137
§ 55.	Behandlung der Motoren und Bedienung der Anlasser . . . . .	139
§ 56.	Beschreibung spezieller Elektromotoren . . . . .	140
§ 57.	Hilfsapparate für den Motorenbetrieb . . . . .	151
§ 58.	Bremsen . . . . .	154

## Dritter Abschnitt.

### Wechselströme.

#### Siebentes Kapitel.

##### Grundgesetze des Wechselstromes.

§ 59.	Entstehung der Wechselströme. Einfache Wechselstrommaschine	159
§ 60.	Effektive Stärke des Wechselstromes. Effektive Spannung. Mes- sung derselben . . . . .	161
§ 61.	Die Selbstinduktion im Wechselstromkreise . . . . .	165
§ 62.	Die Selbstinduktion im Wechselstromkreise (Fortsetzung) . . . . .	167
§ 63.	Das Ohmsche Gesetz für Wechselstromkreise . . . . .	170
§ 64.	Energie des Wechselstromes. Wattmeter . . . . .	171

#### Achstes Kapitel.

##### Die Wechselstrommaschinen.

§ 65.	Allgemeines und Einteilung der Wechselstrommaschinen . . . . .	174
§ 66.	Ankerwickelungen für Wechselstromdynamos . . . . .	176
§ 67.	E.M.K. der Wechselstromdynamo, Polkleinmenspannung und Leistung derselben . . . . .	180
§ 68.	Erregung der Wechselstrommaschinen . . . . .	182
§ 69.	Mehrphasenwickelungen und Mehrphasendynamos . . . . .	183
§ 70.	Dreiphasenstrom- oder Drehstromdynamos . . . . .	187
§ 71.	Wirkung eines magnetischen Drehfeldes auf einen kurz ge- schlossenen Anker . . . . .	192
§ 72.	Das Wechselfeld . . . . .	196
§ 73.	Die Vereinigung von mehreren Wechselfeldern zur Herstellung eines Drehfeldes . . . . .	199
§ 74.	Asynchrone Drehstrommotoren . . . . .	202
§ 75.	Betriebsverhältnisse der asynchronen Drehstrommotoren . . . . .	204
§ 76.	Wechselstromtransformatoren . . . . .	213

## Vierter Abschnitt.

## Galvanische Elemente und Akkumulatoren.

## Neuntes Kapitel.

## Primär- und Sekundär-Elemente.

	Seite
77. Verschiedene Arten der Erzeugung des elektrischen Stromes . . .	216
78. Das galvanische Element . . . . .	216
79. Konstante Elemente . . . . .	217
80. Das Element von Leclanché. Trockenelemente . . . . .	220
81. Der Akkumulator . . . . .	220
82. Beschreibung einiger Akkumulatoren . . . . .	226
83. Behandlung und Wartung der Akkumulatoren . . . . .	231
84. Regulierung des Stromes bei der Ladung und bei der Entladung . . . . .	233
85. Vorteile der Akkumulatoren in Beleuchtungsanlagen . . . . .	236

## Fünfter Abschnitt.

## Elektrische Beleuchtung.

## Zehntes Kapitel.

## Die elektrischen Lampen.

## A. Glühlampen.

86. Einrichtung und Wirkungsweise der Glühlampen . . . . .	237
87. Lampensockel und Lampenfassung . . . . .	238
88. Lichtstärke und Messung derselben . . . . .	239
89. Glühlampen für verschiedene Spannung . . . . .	240
90. Lebensdauer und Abnahme der Leuchtkraft der Glühlampen . . . . .	241
91. Schaltung der Glühlampen . . . . .	242
92. Neuere Glühlampen. Nernst-Lampe, Osmium-Lampe . . . . .	242

## B. Bogenlampen.

93. Die Entstehung des Lichtbogens . . . . .	244
94. Der Gleichstromlichtbogen . . . . .	244
95. Der Wechselstromlichtbogen . . . . .	245
96. Spannungsdifferenz zwischen den Kohleelektroden . . . . .	246
97. Optischer Wirkungsgrad und spezifischer Verbrauch . . . . .	246
98. Vorrichtung zum Regulieren der Bogenlampe . . . . .	247
99. Nebenschlußbogenlampen . . . . .	248
100. Differentialbogenlampen . . . . .	249
101. Beschreibung spezieller Bogenlampen . . . . .	250
102. Besondere elektrische Bogenlampen . . . . .	253
103. Schaltung der Bogenlampen . . . . .	253

## C. Scheinwerfer.

104. Normalmodell des Scheinwerfers G. 90. der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert u. Co. . . . .	257
--	-----



## Achtzehntes Kapitel.

## Schiffskommando-Apparate und Signalapparate.

	Seite
152. Die Maschinen-, Kessel- und Rudertelegraphen von Siemens und Halske, A.-G., Berlin . . . . .	366
153. Die Maschinen-, Ruder- und Kesseltelegraphen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin . . . . .	370
154. Die Maschinen-, Ruder- und Kesseltelegraphen der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin . . . . .	373
155. Verschiedene Signalapparate . . . . .	378

## Neunzehntes Kapitel.

## Die Funkentelegraphie.

156. Physikalische Grundlagen. Der Funkeninduktor . . . . .	379
157. Die elektromagnetischen Wellen. Der Kohärer . . . . .	383
158. Die Funkentelegraphie . . . . .	385



## Erster Abschnitt.

# Die physikalischen Grundgesetze.

## Erstes Kapitel.

### Magnetismus.

#### §. 1. Eigenschaften des Magneten und Formen desselben.

Der Magnet besitzt die Eigenschaft, besonders an einzelnen Stellen seiner Oberfläche, die wir als Pole bezeichnen, Eisenteilchen anzuziehen und festzuhalten. Als natürlicher Magnet findet sich ein Mineral — der Magneteisenstein. Durch verschiedene Magnetisierungsmethoden kann man aus Stahl permanente Magnete oder Dauermagnete herstellen. Das Vermögen des Stahles, den einmal hervorgerufenen Magnetismus zu behalten, bezeichnet man als die Koerzitivkraft desselben.

In den Figuren 1 bis 3 sind verschiedene Formen von Dauermagneten dargestellt und zwar 1. Magneten (Kompassnadeln), als Stäbchen mit kreis-

Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



förmigem oder rechteckigem Querschnitt oder aus einem an den Enden scharf zugespitzten Stück Stahlblech hergestellt. Magneten der letzteren Art (Fig. 1) besitzen in der Mitte meist ein Achsenbüchsen, mit welchem sie auf eine Stahlspitze gesetzt werden können. 2 Magnetstäbe mit kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt (Fig. 2). Hufeisenförmige Magnete (Fig. 3)

§ 2. Pole des Magneten. Legt man den Magnetstab (Fig. 4) in Eisenfeilspäne, so haften diese besonders an den Enden, den Polen des Magneten. Nach der Mitte des Magneten zu wird die Anziehungskraft immer geringer und in der Mitte selbst — in der indifferenten Zone oder Mittellinie  $mm'$  — haften gar keine Feilspäne. Eine auf einer Stahlspitze schwebende Magnetnadel (Fig. 1) stellt sich, wenn nicht in der Nähe Magnete oder größere Eisenmassen vorhanden sind, unter der Einwirkung des Erdmagnetismus so ein, daß die Ver-

Fig. 4.



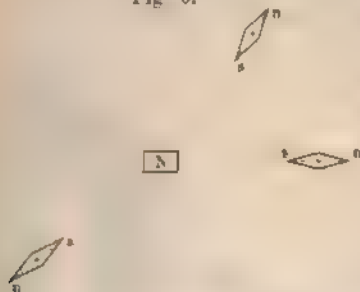
bindungslinie ihrer Pole oder ihre magnetische Achse in der Nord-Süd-Richtung oder im magnetischen Meridian liegt. Hierauf beruht die Verwendung des Magneten im Schiffskompass als Richtungsanzeiger.

Der Pol des Magneten, welcher sich nach Norden wendet, heißt Nordpol; der andere Südpol.

### § 3. Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung.

Ein langer Magnetstab sei vertikal gestellt mit dem Nordpol nach oben.

Fig. 5.



In der horizontalen Ebene durch den Nordpol stellen wir eine Magnetnadel (Fig. 5) nacheinander an verschiedenen Stellen auf. Der Nordpol des Stabes zieht den Südpol der Magnetnadel an. Ungleichnamige Pole ziehen sich an, gleichnamige stoßen sich ab. An allen Stellen der Ebene nimmt die Magnetnadel solche Lage an, daß ihre magnetische Achse durch den Nordpol des Stabes geht, also

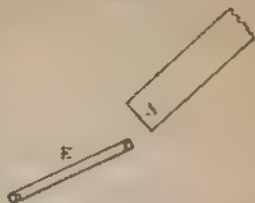
mit der Richtung der vom Nordpol ausgeübten Kraft zusammenfällt.

### § 4. Magnetische Induktion oder Influenz. Bringt man

einen Stab  $E$  aus weichem Eisen in die Nähe eines Magnetpols, so wird der Eisenstab selbst zu einem Magneten und also angezogen von dem Pole. Befindet sich (Fig. 6) der Eisenstab  $E$  in der Nähe eines Nordpols, so wird das Ende, welches diesem Pole am nächsten liegt, ein Südpol; das andere Ende des Stabes ein Nordpol, wie die Untersuchung mit einer in die Nähe gebrachten Magnetnadel zeigt. Je weiter der Eisenstab  $E$  vom Magneten entfernt ist,

desto geringer ist der induzierte Magnetismus. Benutzen wir an Stelle von  $K$  einen Stab aus Stahl, so ist bei gleicher Lage desselben zum Nordpol der in ihm induzierte Magnetismus viel geringer als im weichen Eisenstabe. Während der letztere aber nach der Entfernung vom Nordpol den Magnetismus bis auf sehr geringe Spuren verliert, behält der Stahl vermöge seiner großen Koerzitivkraft einen beträchtlichen Teil des induzierten Magnetismus auch nach der Entfernung von dem Pole zurück.

Fig. 6.



§ 5. Vorstellung über das Wesen des Magnetismus. Zerbricht man einen Magnetstab in zwei oder mehrere Teile, so ist jedes Bruchstück wiederum ein vollständiger Magnet mit zwei Polen. Denken wir uns diese Teilung weiter fortgesetzt, so gelangen wir schließlich zu der Vorstellung, daß jedes Molekül eines Magneten selbst ein Magnet mit zwei Polen ist, d. h. daß die Magnete aus Molekularmagneten oder Elementarmagneten aufgebaut sind.

Über die Verteilung des Magnetismus wollen wir folgende Annahme machen. In jedem Pole des Molekularmagneten sei eine bestimmte magnetische Menge, etwa  $-m$ , vorhanden, beide Pole des Molekularmagneten enthalten dem Betrage nach die gleiche Menge. Der bei der Einwirkung des Erdmagnetismus auf den Magneten hervorretende Gegensatz zwischen den Polen wird dadurch zum Ausdruck gebracht, daß wir die im Nordpole des Molekularmagneten enthaltene Menge als nordmagnetische oder positive  $+m$  bezeichnen, dagegen die im Südpole enthaltene als süd magnetische oder negative  $-m$ . Die magnetischen Mengen  $+m$  und  $-m$  haften am Molekül, sie können nicht von Molekül zu Molekül im Eisen weitergegeben werden.

Im unmagnetischen Eisen sind nach der Drehungstheorie von Wilhelm Weber die Molekularmagnete regellos gelagert, so daß ihre magnetischen Achsen in allen Richtungen liegen, und überall sich neben den Nordpolen ebenso viele Südpole befinden, so daß die Gesamtheit der Pole auch ausßen hin unwirksam bleibt (Fig. 7). Durch die Magneti-

Fig. 7.



erung werden die Molekularmagnete um ihren ruhenden Mittelpunkt gedreht, daß die Nordpole sämtlich mehr oder weniger nach

der einen Seite, die Südpole nach der entgegengesetzten Seite wenden. In Fig. 8 sind die dunkeln Teile, welche die nordmagnetischen Hälften der Molekularmagnete darstellen sollen, gegen das rechte Ende, die süd magnetischen Hälften gegen das linke Ende des Stabes gerichtet. Wird ein Eisenstab in der Längsrichtung magnet

Fig. 8.



siert, so werden alle Molekularmagnete dieser Richtung möglichst parallel gestellt. Wenngleich im Innern dieses Stabes neben einem Nordpol sich ein Südpol befindet, so treten an der einen Endfläche des magnetisierten Stabes doch freie Nordpole, am anderen Ende freie Südpole auf.

Im weichen Eisen gelingt die Drehung der Molekularmagnete schon unter der Einwirkung schwächerer magnetisierender Kräfte als im Stahl. Weiches Eisen wird unter gleichen Verhältnissen stärker magnetisiert als Stahl, aber in ersterem kehren die Molekularmagnete sichtlich in ihre ursprüngliche Lage fast vollständig zurück, sobald die magnetisierende Ursache aufgehört hat. Im Stahle dagegen tritt beim Magnetisiren eine Reibungskraft auf, die der Drehung der Molekularmagnete und damit der Magnetisierung hinderlich ist. Diese Reibungskraft, die Koerzitivkraft, hindert aber nach erfolgter Magnetisierung auch ein Zurückdrehen der Molekularmagnete.

Diese Vorstellung von der Konstitution der Magnete wird durch mehrere Tatsachen gestützt. 1. Alle Umstände, durch welche die Molekularmagnete des Eisens erschüttert oder beweglich gemacht werden, beeinflussen die Magnetisierung. Vorsichtiges Klopfen des Magnetstabes während der Magnetisierung soll vorteilhaft sein. 2. Durch Ausglimmen werden die Molekularmagnete freier beweglich und kehren in ihre ursprünglichen Lagen zurück, wobei der freie Magnetismus verschwindet. 3. Eisen und Stahl lassen sich bis zu einer gewissen Grenze, der Sättigung, magnetisieren, die erreicht ist, wenn alle Molekularmagnete mit ihren Achsen einander parallel stehen.

Dünne Stahlstäbchen (Stahlnadeln) lassen sich derartig magnetisieren, daß nur ihre Endflächen Eisenteilechen anziehen, d. h. nur an den Endflächen der Stäbchen freier Magnetismus auftritt und an ihnen die Pole liegen. Wir denken uns dann die magnetischen Achsen aller Molekularmagnete der Längsachse des Stabes parallel gestellt, der Stabmagnet besteht in diesem Falle aus einem Bündel von Reihen aneinander hängender Molekularmagnete. Unter diesen Verhältnissen tritt der freie Magnetismus einer Endfläche oder die Magnetisismen-

ines Poles des Magnetstabes gleich der Summe aller magnetischen Mengen  $m$  der freien Pole der an dieser Endfläche liegenden Molekularmagnete. Die in einem Pole vorhandene Magnetismusmenge wird auch als Polstärke desselben bezeichnet.

§ 6. Das Gesetz von Coulomb. Die Kraft, mit welcher zwei Magnetpole sich gegenseitig anziehen oder abstofsen, ist dem Produkte der in ihren Polen enthaltenen magnetischen Mengen oder den Polstärken proportional, und dem Quadrate der Entfernung der Pole umgekehrt proportional. Die Richtigkeit dieses Gesetzes ist von Coulomb mit der Drehwaage bestätigt.

Die Kraft, mit welcher also zwei dieselbe Magnetismusmenge enthaltende Nordpole im Abstände 2 cm voneinander sich abstofsen, ist viermal kleiner als im Abstände 1 cm. Zwei Magnetpole, die gleiche Magnetismusmengen von solchem Betrage enthalten, daß sie beim Abstände 1 cm voneinander sich je nach dem Vorzeichen der Pole mit der Einheit der Kraft anziehen oder abstofsen, nennt man Einheitspole. Der Einheitspol enthält die Einheit der magnetischen Menge oder hat die Einheit der Polstärke.

Dabei wird das absolute Maßsystem zugrunde gelegt, in welchem als Fundamenteinheiten der Länge: das Centimeter, der Zeit: die Sekunde und der Masse: das Gramm gewählt sind. Die Kraft-Einheit des absoluten Maßsystems ist die Dyne, d. h. diejenige Kraft, welche der Masse: ein Gramm die Beschleunigung 1 cm in der Sekunde

$\left( \frac{1 \text{ cm}}{\text{sek}^2} \right)$  erteilt. Da das Grammgewicht eine Kraft ist, die der Gramm-

masse beim freien Falle die Beschleunigung  $981 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$  gibt, und da ferner bei gleichen Massen sich die Kräfte wie die den Massen erteilten Beschleunigungen verhalten, so ist

$$1 \text{ Grammgewicht} = 981 \text{ Dynen,}$$

$$1 \text{ Kilogrammgewicht} = 981\,000 \text{ Dynen.}$$

Zwei gleiche Magnetpole sind also dann Einheitspole, wenn sie im Abstände 1 cm voneinander sich anziehen oder abstofsen mit der Kraft 1 Dyne, d. i. eine Kraft, die wenig größer als das Gewicht eines Milligramms ist.

Legen wir dieses Maßsystem zugrunde, und bezeichnen wir mit  $m_1$  und  $m_2$  die in zwei Magnetpolen enthaltenen freien Mengen Magnetismus und mit  $r$  den Abstand der Pole in Centimeter, so ist die Kraft  $K$ , mit welcher sich die Pole anziehen oder abstofsen

$$K = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \text{ Dyn.}$$

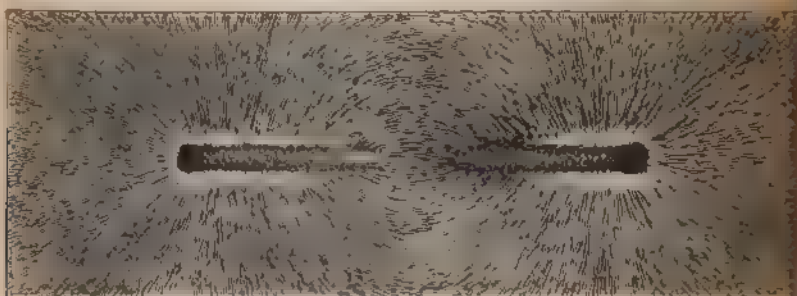


Haben  $m_1$  und  $m_2$  gleichen Vorzeichen (gleichnamige Pole), so ist  $K$  positiv und eine Abstoßungskraft; haben dagegen  $m_1$  und  $m_2$  verschiedenen Vorzeichen (ungleichnamige Pole), so ist  $K$  negativ und eine Anziehungskraft.

Die Gleichung (1) ist der mathematische Ausdruck des Coulombschen Gesetzes.

**§ 7. Magnetische Kraftlinien.** Einen Stabmagneten bedecken wir mit einer Glasplatte und streuen Eisenfeilspäne auf dieselbe mittels eines feinen Siebes. Die Späne werden durch Induktion (vergl. § 4) magnetisch und bilden Kurven zwischen den Polen (Fig. 9). Stellen

Fig. 9.



wir eine kurze Magnetnadel an verschiedenen Punkten der Glasplatte auf, so fällt die Richtung der magnetischen Achse der Nadel mit der Richtung der Tangente der Kurve zusammen, die durch ihren Drehpunkt geht. Die von den Eisenfeilspänen gebildeten Kurven geben also an jeden

Fig. 10.



Punkte der Glasplatte die Richtung der magnetischen Kraft an, welche von den Polen des Magneten herrührt. Die Kurven werden daher als magnetische Kraftlinien bezeichnet. Auf der Glasplatte zeigt sich der Verlauf der Kraftlinien nur in einer einzigen durch die Pole gelegten Ebene. In allen anderen durch die Pole gelegten Ebenen erhalten wir ein ähnliches Bild des Verlaufes der Kraftlinien oder Kraftliniendiagramm. Der ganze Raum um den Magneten, der



den Kraftlinien desselben erfüllt ist, oder in welchem wir noch die dem Magneten herrührende Kraft nachweisen können, heisst das magnetische Feld des Magneten.

Wird ein hufeisenförmiger Magnet so gestellt, daß seine Schenkel vertikal nach oben stehen, so zeigt sich auf einer auf die Pole gelegten Glasplatte das Diagramm (Fig. 10). Besonders an den scharfen Kanten der Pole treten die Kraftlinien stark hervor.

Die Richtung, nach welcher der Nordpol einer kleinen im Felde gestellten Nadel (Fig. 11) zeigt, ist die Richtung der Kraft-

Fig. 11.

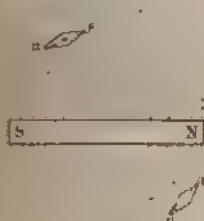


Fig. 12.



linien oder die Richtung des Feldes. Die Kraftlinien gehen nun nach vom Nordpol des Magneten aus durch den umgebenden Raum und endigen am Südpol.

Um an irgend einer Stelle des Feldes die Richtung der Kraftlinien zu ermitteln, kann man sich einer kleinen, frei nach allen Richtungen drehenden Magnetnadel bedienen, wie die in Fig. 12 dargestellte, welche von der Firma Hartmann u. Braun als Kraftlinienrichtungszeiger hergestellt wird.

Fig. 13 zeigt das Kraftliniendiagramm bei zwei Stabmagneten, von denen der eine in der Verlängerung des anderen liegt. Der Nordpol des

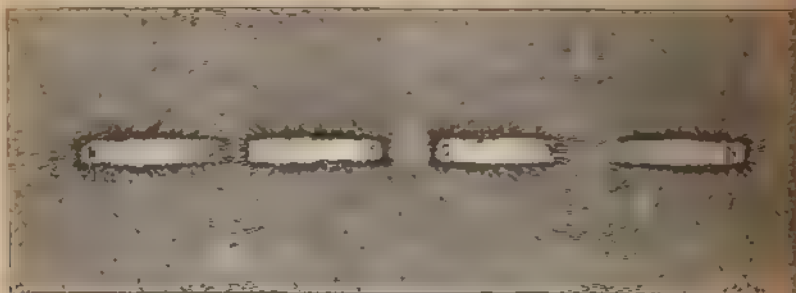
Fig. 13.



ein Magnet steht dem Südpol des anderen gegenüber und die Kraftlinien gehen vom Nordpol des einen Magneten teilweise zum Südpol des anderen über. In Fig. 14 ist die Lage der Magnetstäbe dieselbe wie in Fig. 13, aber die gleichnamigen Pole stehen einander gegenüber.

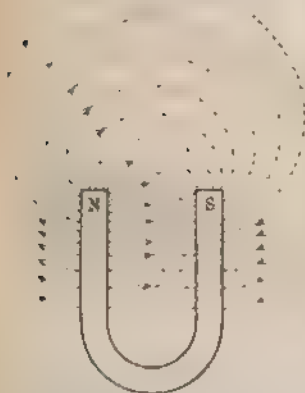
In Fig. 15 ist das Kraftliniendiagramm eines hufeisenförmigen Magneten schematisch dargestellt. In der Nähe der Polflächen ist die auf die Eisenspalte ausgeübte Kraft am größten, zugleich zeigt das Kraftliniendiagramm, daß

Fig. 14.



nach den Polen hin die Kraftlinien zusammenlaufen und an den Polen selbst am dichtesten zusammenliegen. Je weiter wir uns vom Magneten entfernen, desto weniger treten die Kraftlinien hervor, desto größer wird der Abstand zwischen zwei benachbarten. Je dichter die Kraftlinien an einer Stelle zusammenliegen, desto größer ist an ihr auch die magnetische Kraft. Das Kraftliniendiagramm gibt nicht nur Aufschluß über die Richtung der magnetischen Kraft im Felde, sondern läßt auch aus einem

Fig. 15.



Vergleiche der Dichte der Kraftlinien an zwei Orten des Feldes auf das Verhältnis der Größen der magnetischen Kräfte an ihnen schließen.

Unter der Feldstärke in einem Punkte des magnetischen Feldes versteht man die auf einen Einheitspol in demselben ausgeübte Kraft in Dynen.

Um auch durch die Kraftlinien an jeder Stelle des Feldes die Feldstärke anzugeben, denkt man sich so viele Kraftlinien im Felde gezogen, daß an jedem Punkte auf eine zur Richtung der Kraftlinien senkrechte Flächeneinheit ( $\text{qcm}$ ) so viele Kraftlinien treffen, daß die Zahl derselben numerisch gleich der Feldstärke in dem betrachteten Punkte ist.

Wird also in einem Felde auf einen Einheitspol die Kraft 20 Dynen ausgeübt, so müssen nach der obigen Definition durch ein Quadratcentimeter an der betrachteten Stelle 20 Kraftlinien gehen, wobei die Fläche des Quadratcentimeters zur Richtung des Feldes senkrecht liegt.

Ein Magnetfeld, in welchem die Kraftlinien parallel sind und dessen Feldstärke in allen Punkten dieselbe ist, heißt ein homogenes oder gleichförmiges Feld. In diesem ist die Kraftliniendichte konstant.

§ 8. Magnetischer Kreis. Permeabilität. Bislang ist nur der Verlauf der magnetischen Kraftlinien außerhalb des Magneten betrachtet. Im Innern des Magneten werden die Kraftlinien durch die Reihen der Molekularmagnete (Fig. 16) fortgesetzt, so daß daselbst

Fig. 16.

Fig. 17.



Kraftlinien vom Südpol zum Nordpol verlaufen. Die Kraftlinien sind also geschlossene Kurven.

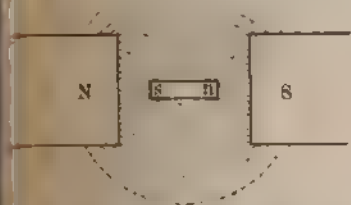
Die Gesamtheit der magnetischen Kraftlinien eines Magneten nennen wir den magnetischen Kreis desselben.

Nur an den Stellen der Oberfläche, wo Kraftlinien in den Magneten eintreten oder austreten, liegen freie Magnetpole und wird unmagnetisches Eisen angezogen (siehe Fig. 4).

Zwischen den parallelen Polflächen (Fig. 17) eines Magneten entsteht, besonders im mittleren Teil, ein gleichförmiges Feld. In diesem Teil des Feldes befestigen wir ein kurzes Stäbchen aus unmagnetischem Eisen. Das Diagramm (Fig. 18) zeigt uns, daß die

Fig. 18.

Fig. 19.

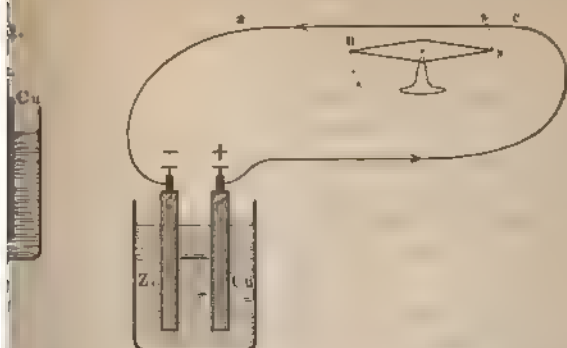


Kraftlinien in dem Stäbchen zusammengezogen werden. An der Stelle, wo die Kraftlinien in das Eisenstäbchen eintreten, entsteht ein Südpol.

Zwischen den cylindrisch ausgebohrten Polschuhen eines Magneten liegt ebenfalls ein Ring aus weichem Eisen. Der Verlauf der Kraftlinien ist schematisch in Fig. 19 dargestellt. In beiden Lufthohlräumen gehen die Kraftlinien in radialer Richtung, also auf dem kürzesten Wege zwischen Polschuh und Ring über.

Die Enden der beiden Platten werden mit Klemmschrauben versehen, die zur Verbindung des Elementes mit Leitung dienen sollen. Zwischen den beiden Polklemmen elektrische Spannungsdifferenz vorhanden. Verbindet

Fig. 22.



Die Polklemmen des Voltaschen Elementes (Fig. 21) durch einen Draht, so fließt durch denselben infolge der Spannungsdifferenz elektrischer Strom.

Wenn man die Enden *a* und *c* des Drahtes spannen wir geradlinig aus und eine schnelle Bewegung über die Magnetnadel (Fig. 22), so wird die Magnetnadel selbst im magnetischen Meridian liegen soll. Die Magnetnadel wird dabei aus der Nord-Süd-Lage abgelenkt, wenn elektrischer Strom in der Nähe fließt. Lösen wir die Verbindung des Drahtes an einer der Polklemmen, d. h. schalten wir den Draht aus, so kehrt die Magnetnadel in ihre Nord-Süd-Lage zurück. Vertauschen wir an den Polklemmen die Enden des Drahtes, so wird die Magnetnadel nach der entgegengesetzten Seite vorher abgelenkt.

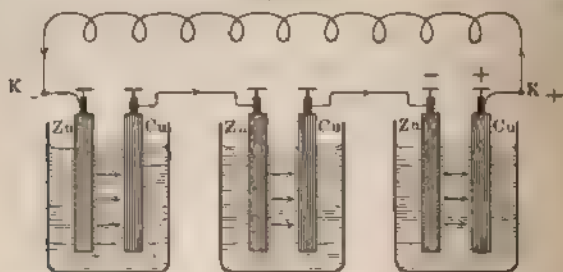
Der elektrische Strom fließt von der Kupferplatte durch den Draht zur Zinkplatte. Die Polklemme am Kupfer ist der positive (+), die am Zink als negativer Pol des Elementes bezeichnet. Hält man die rechte Hand so neben dem Draht, dass der elektrische Strom in der Richtung von der Hand nach den Fingerspitzen fließt, und ist die Handfläche dem Nordpol zugekehrt, so wird der Daumen nach der Seite des elektrischen Strom nach der Seite des Daumens abgelenkt (siehe Fig. 45).

Die elektrische Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen des Elementes, die die Polklemmenspannung entsteht infolge der elektrischen Kraft (E.M.K.), welche bei der Berührung der Platten mit der verdünnten Säure auftritt. Da diese elektromotorische Kraft fortgesetzt tätig ist, solange das Element zusammen-

gesetzt ist, so bleibt auch die Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen bestehen, und wir erhalten daher einen dauernden Strom in dem die Pole verbindenden Draht. Durch den Strom sucht sich die Spannungsdifferenz auszugleichen, sie wird aber sogleich wieder durch die elektromotorische Kraft des Elementes hergestellt. Vom negativen Pol fließt der elektrische Strom dann durch die Zinkplatte (Zinkelektrode) weiter durch die Flüssigkeit und zum Kupferpol zurück. Das Element wird also ebenfalls von dem elektrischen Strom durchflossen, und die verdünnte Schwefelsäure leitet den Strom. Das Element bildet daher mit dem die Pole verbindenden Schließungsdraht einen ununterbrochenen Schließungskreis oder Stromkreis. Die elektromotorische Kraft erhält den elektrischen Strom im ganzen Schließungskreis, indem sie den Strom sowohl durch den Schließungsdraht als auch durch das Element treibt. Die Polklemmenspannung ist nur ein Teil der E. M. K. des Elementes, nämlich derjenige, welcher den Strom durch den außerhalb des Elementes liegenden Stromweg — den Schließungsdraht oder äußeren Widerstand — treibt.

Sobald der Schließungskreis oder Stromkreis des Elementes hergestellt ist, fließt durch jeden Querschnitt des ganzen Schließungskreises die gleiche Elektrizitätsmenge. Unter der Stärke des elektrischen Stromes — Stromstärke — versteht man die Elektrizitätsmenge, welche durch einen beliebigen Querschnitt des Schließungskreises in der Sekunde hindurchgeht. Die Stromstärke ist an allen Stellen eines unverzweigten Schließungskreises dieselbe. Dabei gehen wir von der Vorstellung aus, daß die Elektrizität — als ein unwägbares, durch die Sinne nicht wahrnehmbares Fluidum — durch die elektromotorische

Fig. 23.



Kraft des Elementes dauernd und stetig durch den Schließungskreis getrieben wird, solange dieser nicht an irgend einer Stelle unterbrochen oder geöffnet wird. Das Vorhandensein des elektrischen Stromes können wir nur durch die Wirkungen desselben kennen lernen und wir wollen daher in § 10 und 12 einige dieser Wirkungen zunächst behandeln.

Um eine größere E. M. K. und Polklemmenspannung als bei einem Elemente zur Verfügung zu haben für einige der in § 10 beschriebenen

Versuche, verbinden wir mehrere Voltasche Elemente in Hintereinanderschaltung miteinander. Hierbei ist der Zinkpol des einen Elementes mit dem Kupferpol des nächsten verbunden. Fig. 23 stellt eine Batterie von drei hintereinander oder „in Reihe“ geschalteten Voltaschen Elementen dar.  $K_+$  und  $K_-$  sind die beiden Polklemmen der Batterie. Alle drei Elemente treiben den Strom in der gleichen Richtung durch den Schließungskreis, und die elektromotorische Kraft der Batterie ist dreimal so groß als bei Anwendung nur eines Elementes. Demgemäß ist auch die Polklemmenspannung — die Spannungsdifferenz zwischen  $K_+$  und  $K_-$ , zwischen denen ein Metalldraht als äußerer Widerstand eingeschaltet ist — größer als bei Anwendung eines Elementes. Die größere elektromotorische Kraft bringt einen stärkeren Strom im Schließungskreise hervor. Die Gesetze, nach denen sich die Stromstärke berechnen lässt, sind in § 13 angegeben.

### § 10. Chemische Wirkungen des Stromes. Elektrolyse.

Ein metallischer Leiter erfährt beim Durchgang des elektrischen Stromes keine chemische Veränderung. Eine Flüssigkeit, wie verdünnte Schwefelsäure, Kochsalzlösung u. s. w., leitet den elektrischen Strom nur, indem sie zugleich chemisch zersetzt wird. Flüssigkeiten, die selbst ein Metall sind, wie das Quecksilber, verhalten sich wie feste Metalle und werden nicht zersetzt. Solche Flüssigkeiten, wie reines Wasser, Petroleum, Alkohol u. a. m., die nicht durch den Strom zersetzt werden, leiten ihn auch nicht. Man unterscheidet zwischen den Leitern erster Klasse, zu denen die Metalle und die Kohle gehören, und den Leitern zweiter Klasse, die durch den elektrischen Strom zersetzt und Elektrolyte genannt werden. Der Vorgang der Zersetzung durch den elektrischen Strom wird als Elektrolyse bezeichnet. Reines Wasser, Alkohol, Petroleum u. a. m. gehören wie Glas, Ebonit, Kautschuk, Seide u. s. w. zu den Isolatoren, die den Strom überhaupt nicht oder nur in sehr geringem Maße leiten.

#### Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure.

Taucht man zwei Platinplatten, von denen die eine durch einen Kupferdraht mit  $K_+$ , die andere mit  $K_-$  der nach Fig. 23 angeordneten Batterie von sechs Elementen<sup>1)</sup> verbunden ist, in geringem Abstände voneinander in verdünnte Schwefelsäure, so beobachtet man, daß an beiden Platten Gasbläschen aufsteigen; in der Flüssigkeit zwischen den Platten bilden sich keine Gasblaschen.

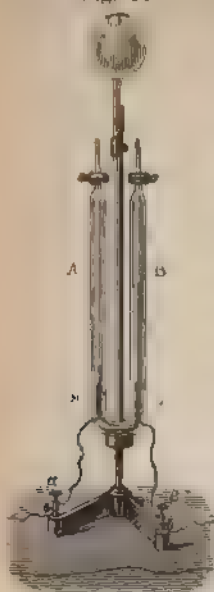
Mittels des in Fig. 24 dargestellten Apparates kann man die an den Platinplatten — den Elektroden — entwickelten Gas Mengen auffangen. Das mit Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) angesäuerte Wasser befindet sich in den.

<sup>1)</sup> Für diese Versuche werden des bequemen Gebrauches wegen meist Akkumulatoren (vergl. § 81) benutzt.



U-förmigen Glasrohre, durch dessen Schenkel zwei Zuleitungsdrähte bei *a* und *b* hindurchgehen, von denen jeder eine Elektrode aus Platinblech trägt. Die Elektrode *b* ist mit  $K^+$ , dagegen *a* mit  $K^-$  der Batterie verbunden. Vor dem Schließen des Stromes läßt man durch Öffnen der Glashähne beide Röhren sich mit der verdünnten Säure füllen.

Fig. 24

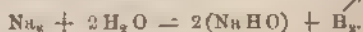


Die mit dem —-Pol der Batterie verbundene Platinelektrode ist die Kathode, die mit dem +-Pol verbundene ist die Anode. Der elektrische Strom fließt von der Anode *b* durch die Flüssigkeit zur Kathode *a*. Die Untersuchung zeigt, daß an der Kathode zwei Raumteile Wasserstoff ausgeschieden werden, während an der Anode sich ein Raumteil Sauerstoff bildet. Die ausgeschiedenen beiden Grundstoffe  $H$  und  $O$  sind aber die Bestandteile des Wassers und beide werden genau in dem Mengenverhältnis entwickelt, in welchem sie im Wasser vorkommen. Der ganze Vorgang wird daher als Elektrolyse des Wassers bezeichnet.

In Wirklichkeit wird das Wasser nicht unmittelbar durch den Strom zersetzt, reines Wasser ist überhaupt kein Elektrolyt. Zersetzt wird in der That nur die Schwefelsäure  $H_2SO_4$ , und zwar so, daß der Wasserstoff  $H_2$  an der Kathode, der „Säurerest“  $SO_4$  an der Anode abgeschieden wird. Der „Säurerest“  $SO_4$  kann für sich nicht bestehen, sondern entnimmt dem Wasser  $H_2O$  den zur Bildung von Schwefelsäure nötigen Teil Wasserstoff, nämlich  $H_2$ , wobei die entsprechende Menge Sauerstoff  $O$  frei wird. Der Sauerstoff ist demnach nicht unmittelbar durch den elektrischen Strom abgeschieden, sondern erst durch einen sekundären Prozeß hervorgebracht, in welchem der abgeschiedene Säurerest auf das Lösungsmittel der Schwefelsäure, das Wasser, wirkt.

#### Elektrolyse des schwefelsauren Natriums, $Na_2SO_4$ (Glaubersalz)

In ähnlicher Weise wie die Schwefelsäure werden in Wasser gelöste Salze durch den elektrischen Strom zersetzt. Bei der Elektrolyse zwischen Platinelektroden wird das Metall Natrium an der Kathode, dagegen der Säurerest  $SO_4$  an der Anode ausgeschieden, der sich ebenso wie bei der vorher besprochenen Elektrolyse zu  $H_2SO_4$  durch einen sekundären Prozeß ergänzt, bei welchem Sauerstoff frei wird. Das Natrium entzieht dem Lösungswasser Sauerstoff und bildet sich um zu Natronlauge (Natriumhydroxyd  $NaHO$ ), wobei Wasserstoff frei wird:



Färbt man durch Blutkrantabkochung die an sich farblose Glaubersalzlösung violett und nimmt man die Elektrolyse mit dem in Fig. 24 abgebildeten Apparate vor, so wird die Flüssigkeit an der Anode durch die Sauerstoffentwicklung rot, an der Kathode durch die Lauge  $NaHO$  grün gefärbt. Derartige Mittel dienen zur Bestimmung des +- und —-Poles der Stromquelle, wenn diese nicht ohne weiteres kenntlich sind. Bequemer ist es, der Lösung des Glaubersalzes einige Tropfen der farblosen Lösung von Phenolphthalein

$H_2O_2$ ) in Alkohol zuzusetzen. Die bei der Elektrolyse entstehende Färbung färbt die Lösung an der Kathode karminrot. Tränkt man einen reifen Fliesspapier mit der Lösung von  $Na_2SO_4$  und einem geringen Zusatz der Phenolphthaleinlösung, und setzt man an die Enden des Streifens je beiden mit den Polen einer Stromquelle verbundenen Drähte auf, so färbt sich die mit dem negativen Pol verbundene Drahtspitze einen roten Fleck (Polreagenzpapier).

Verfährt man ebenso mit einem mit Jodkaliumlösung und Stärkekleister beschichteten Papier, so entsteht an dem mit dem positiven Pol verbundenen Ende ein blauer Fleck, indem das daselbst abgeschiedene Jod den Kleister blau färbt.

## § 11. Gesetz von Faraday. Knallgas- und Silbervoltameter.

Die in § 10 besprochenen Elektrolysen und allen anderen sind die Quantitäten der an den Elektroden abgeschiedenen Bestandteile von der Gestalt, Größe und Entfernung der Elektroden ganz unabhängig, sondern allein durch die Stärke des elektrischen Stromes und durch die Zeit des Stromdurchganges bestimmt.

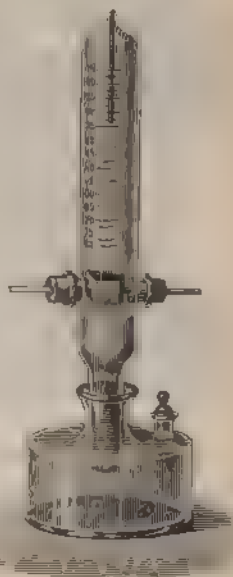
Die an den Elektroden ausgeschiedenen Gewichtsmengen eines Metalles oder Raummengen eines Gases sind der Stromstärke und der Zeit des Stromdurchganges proportional.

Auf Grund dieses Gesetzes kann man Stromstärken durch Elektrolyse von angesäuertem Wasser oder einer Salzlösung messen. Die hierzu verwendeten Apparate heißen Voltameter (Gewichts- und Volumenvoltameter).

Fig. 25 zeigt eine von Kohirausch angegebene Form des Apparates zur Wasserzersetzung. Ein etwa 38 mm weites, in je zwei Teile geteiltes, kalibriertes Glasrohr ist in ein weiteres Standgefäß, das seitlich einen Hahn mit Stopfen trägt, eingeschlossen. Mittels durchbohrter Kautschukstopfen werden die Platinelektroden seitlich in das Meßrohr eingeführt. Bei dieser Anordnung erhält man bei der Elektrolyse eine Mischung von 10 Th. Sauerstoff und 2 Thln. Wasserstoff, d. h. Knallgas. Die Stromstärke, bei der in einer Minute 10,24 ccm Knallgas entwickelt werden, gemessen bei 0° und 760 mm Druck, wird als ein Ampère bezeichnet. Diejenige Elektrizitätsmenge, welche bei dieser Stromstärke

in einer Sekunde durch den Querschnitt der Leitung fließt, ist ein Coulomb. Der in Fig 25 dargestellte Apparat kann also als Knallgasvoltameter zur Messung der Stromstärke dienen. Der Gebrauch desselben ist für praktische Zwecke zu umständlich, da eine Reduktion des entwickelten Gasvolumens nach den Gesetzen von Mariotte und Gay-Lussac auf 0° und 760 mm Druck vorgenommen werden muß. Immerhin können Ströme bis 30 Amp. mit dem

Fig. 25.



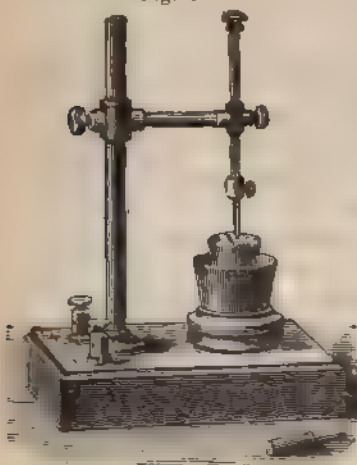


Apparat genossen werden, und im Laboratorium dient derselbe zur Eichung elektromagnetischer Strommesser (vergl. § 12).

Das Silbervoltameter dient insbesondere zur Eichung und Prüfung der Apparate, welche durch elektromagnetische Wirkungen die Stärke schwacher Ströme messen (vergl. das in § 25 beschriebene Milli- und Ampèremeter von Siemens und Halske).

Fig. 26 stellt das von Hartmann und Braun in Bockenheim angefertigte Silbervoltameter dar. In einen dicken Messingringe auf der Grund-

Fig. 26.



platte des Instrumentes, die mit einer Polklemme in Verbindung steht, wird ein Becher aus Platin eingesetzt, der als Kathode dient und mit einer 15- bis 30prozentigen Lösung einer salpetersauren Silber gefüllt wird. In die Lösung taucht ein von einem Halbe aus Messing getragener Silberstift als Anode. Das Silber erhält man als weißen glänzenden Niederschlag auf der Innenseite der Kathode, und die Menge des entwickelten Silbers kann durch Wägung des Platintiegels vor und nach dem Versuche ermittelt werden.

Ein Ampère scheidet pro Sekunde 1,118 mg Silber aus. Diese Menge bezeichnet man als das elektrochemische Äquivalent des Silbers.

Ist  $A$  das elektrochemische Äquivalent eines Metalles in Milligramm,  $i$  die Stromstärke in Ampère und  $t$  die Zeit des Stromdurchganges in Sekunden, so ist die Menge  $M$  des abgeschiedenen Metalles an der Kathode

$$(2) \quad M = A \cdot i \cdot t \text{ mg.}$$

Bei der Elektrolyse einer verdünnten Säure wird an der Kathode stets der Wasserstoff oder bei der Elektrolyse von Salzen das Metall niedergeschlagen, während der „Sauerrest“ an der Anode auftritt.

**§ 12. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes. Strommesser.** Auf die Wirkung des elektrischen Stromes auf eine Magnetnadel ist bereits im § 9 hingewiesen. Die Stärke der durch den elektrischen Strom hervorgerufenen Ablenkung der Magnetnadel aus dem magnetischen Meridian gibt ein Mittel, die Stromstärke zu messen. Für viele in der Technik verwendete Strommesser kommt dagegen die in Fig. 27 dargestellte Wirkung des elektrischen Stromes zur Anwendung.

Auf einer Spule  $s$  aus Isoliermaterial (Fig. 27) ist isolierter Kupferdraht in zwei oder mehreren Lagen mit dicht nebeneinander liegenden Windungen aufgewickelt. An einem Arme des um  $\alpha$  drehbaren Winkelhe-

Stück weiches Eisenblech  $e$  befestigt. Am Ende des zweiten Armes  $a$  noch ein Gegengewicht  $G$ . Verbindet man die Drahtenden der Spule mit den Polen der Voltaschen Batterie, so sieht man, daß der Eisenkörper in die Spule hineingezogen wird. Wir geben die Zahl der in Reihe gegebenen Elemente und damit die Stromstärke an, so wird der Eisenkörper tiefer einbezogen. Der am Hebel bei  $o$  befestigte Zeiger zeigt an, wie sehr der Eisenkörper in die Spule gezogen wird. Wir werden später (§ 21) sehen, daß der Eisenkörper durch den elektrischen Strom magnetisiert wird, und daß die Zugkraft auf Wechselwirkung zwischen dem elektrischen Strom und dem magnetisierten Eisen beruht.

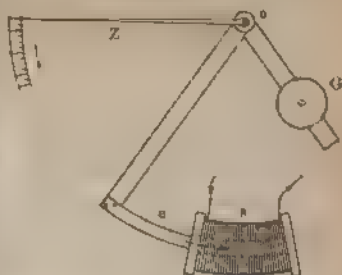


Fig. 27.

Diese Wirkung ist bei dem in Fig. 28 abgebildeten Strommesser (Ampèremeter von Hartmann und Braun) benutzt. Der Eisenkörper taucht mit dem unteren Ende in die Spule und hängt an einer Spiralfeder. Der Zug der stromdurchflossenen Spule wirkt der Spiralfeder entgegen. Die Bewegung des Eisenkörpers wird durch ein Hebelwerk auf den Zeiger übertragen, der direkt die Stromstärke in Ampère anzeigt.

Fig. 28



Vor dem Gebrauche dieses Instrument mit Voltameter oder mit bereits geeichten Instrument (Normalinstrument) verglichen werden, wobei man die verschiedenen Zeigerstellungen der Stromstärken abliest.

**13. Das Ohmsche Gesetz.** Wird ein Metalldraht wie in Fig. 29 an den Polen einer galvanischen Batterie verbunden, so entsteht an den Enden des Drahtes eine elektrische Spannungsdifferenz. Durch den Draht fließt ein elektrischer Strom. Wir wollen zunächst untersuchen, von welchen Umständen die Stärke des elektrischen Stromes in diesem Drahte, der den Widerstand des Schließungskreises bildet, abhängt.

Die elektrische Spannungsdifferenz ist analog der Temperaturdifferenz. Dem Temperaturgrade oder der Temperatur entspricht die Spannung. Befinden sich zwei Elektroden in einer

die Enden eines Metallstabes auf verschiedener Temperatur, so geht ein Wärmestrom durch den Metallstab von dem Ende mit höherer Temperatur nach dem Ende mit tieferer Temperatur. Wir sehen ab von der durch die Oberfläche des Stabes erfolgenden Ausstrahlung. Der Wärmestrom ist um so kräftiger, je größer die Temperaturdifferenz zwischen den Enden des Stabes ist. Die Metalle besitzen verschiedene Wärmeleitungsvermögen, unter ihnen leitet Silber am besten, auch Kupfer gehört zu den besten Wärmeleitern.

Unter der Stärke des Wärmestromes verstehen wir die Warmemenge, welche pro Sekunde durch einen Querschnitt des Metallstabes hindurchgeht. Die Stärke des Wärmestromes hängt außer von der Temperaturdifferenz zwischen den Enden des Stabes auch von dem Widerstande ab, den der Stab dem Durchgange der Wärme leistet. Dieser Widerstand ist um so kleiner, je kürzer der Stab, je größer sein Querschnitt und Wärmeleitungsvermögen ist. Zwischen je zwei Querschnitten des Stabes ist eine Temperaturdifferenz vorhanden, die um so geringer ist, je näher die Querschnitte beieinander liegen.

Ähnliche Betrachtungen gelten auch für die elektrische Strömung in dem Metalldrahte (Fig. 23) zwischen den Polklemmen der Batterie. Unter der Stärke des elektrischen Stromes verstehen wir die Elektrizitätsmenge, welche in der Sekunde durch den Drahtquerschnitt fließt. Am  $+$ -Pol (Kupfer) der Batterie ist die Spannung größer als am  $-$ -Pol (Zink). Die Elektrizität strömt von den Stellen höherer Spannung zu denen niedriger Spannung. Zwischen je zwei Querschnitten des Drahtes ist eine elektrische Spannungsdifferenz vorhanden, die aber um so kleiner wird, je näher die Querschnitte beieinander liegen.

Die Stärke des elektrischen Stromes in dem betrachteten Draht ist um so größer, je größer die Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Drahtes und je kleiner der elektrische Widerstand desselben ist. Bezeichnen wir also mit  $e$  die Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Drahtes oder die Polklemmenspannung der Batterie, mit  $w$  den Widerstand des Drahtes, der die Polklemmen verbindet, so können wir die Stromstärke  $i$  ausdrücken durch

$$(3) \quad i = \frac{e}{w}.$$

Wie bei der Wärmeströmung ist auch hier der Widerstand, den der Draht dem Durchgange des elektrischen Stromes leistet, um so größer, je länger der Draht ist und je kleiner der Querschnitt und das spezifische Leitungsvermögen des Drahtes sind. Setzt man das spezifische elektrische Leitungsvermögen des Quecksilbers  $= 1$ , so zeigt die Untersuchung, daß

das spezifische Leitungsvermögen des Silbers etwa	—	60
" " " " Kupfers "	—	55 — 57
" " " " Eisens "	—	10

ist. Der elektrische Widerstand eines Leiters von der Länge und dem überall gleichen Querschnitt  $q$  wird ausgedrückt durch

$$(4) \quad w = \frac{L}{q \cdot \lambda},$$

wobei  $\lambda$  das spezifische Leitungsvermögen bedeutet. Dabei sind die Einheiten für  $L$  und  $q$  zunächst noch willkürliche. Nach dem in der Elektrotechnik gebrauchten absoluten Maßsystem ist als Einheit des elektrischen Widerstandes „das Ohm“ eingeführt, d. h. der elektrische Widerstand, den ein Faden aus reinem Quecksilber von 1063 mm Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° C. dem Durchgange des elektrischen Stromes entgegengesetzt.

Legt man diese Widerstandseinheit zugrunde, so ergibt die Gleichung (4) den Widerstand des betrachteten Leiters in Ohm ( $\Omega$ ), wenn  $L$  in Meter und  $q$  in Quadratmillimeter ausgedrückt wird. Wird

$L = 1$  m und  $q = 1$  qmm gewählt, so wird  $w = \frac{1}{\lambda}$ , d. h. der Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt — der spezifische Widerstand  $c$  — ist gleich dem reziproken Werte des spezifischen Leitungsvermögens:

$$(5) \quad c = \frac{1}{\lambda}.$$

Der spezifische Widerstand wird in Ohm angegeben, er hängt von der Reinheit, mechanischen Behandlung und von der Temperatur des Leiters ab.

Tabelle der spezifischen Widerstände.

Material	Spezifischer Widerstand bei 16° = $c$	$\lambda$ = spez. Lei- tungsvermögen bei 16°
Kupfer . . . . .	0,017	58
Kobalt . . . . .	0,09 — 0,15	11 — 6,6
Neusilber . . . . .	0,16 — 0,40	6,25 — 2,5
Platin . . . . .	0,108	9,26
Blei . . . . .	0,21	4,8
10 Proz. wässrige Lösung von Chlornatrium	—	0,000 183
20 Proz. wässrige Schwefelsäurelösung	—	0,000 611

Zur Berechnung des elektrischen Widerstandes  $w$  eines Leiters von der Länge  $L$  (Meter) und dem Querschnitt  $q$  (Quadratmillimeter) erhalten wir also die Formeln

$$6) \quad w = \frac{Lc}{q} \text{ Ohm } (\Omega),$$

$$7) \quad w = \frac{L}{q \cdot \lambda} \Omega.$$

Als Einheit der elektrischen Stromstärke ist bereits früher das Ampère erklärt worden (vergl. S. 16).

Als Einheit der Spannungsdifferenz gilt das Volt, d. i. nach der Gleichung (3) die Spannungsdifferenz, welche zwischen den Endpunkten eines Quecksilberfadens oder überhaupt eines Leiters von 1  $\Omega$  Widerstand vorhanden ist, wenn durch ihn der Strom 1 Ampère fließt.

Führen wir diese Einheiten für die Messung der in der Gleichung (3) auftretenden Größen ein, so ist

$$(8) \quad i \text{ (Ampère)} = \frac{e \text{ (Volt)}}{w \text{ (Ohm)}}$$

oder in Worten:

Stromstärke in einem Leiter in Ampère =  $\frac{\text{Spannungsdifferenz zwisch. d. Enden d. Leiters in Volt.}}{\text{Widerstand des Leiters in Ohm}}$

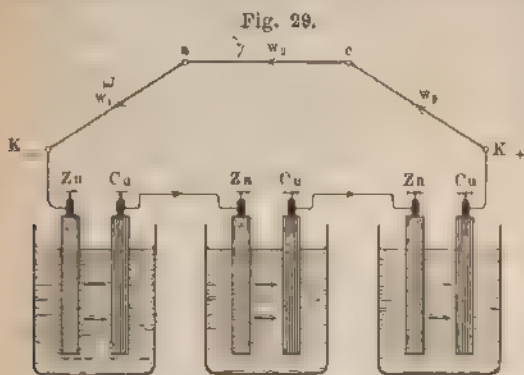
Dieses ist der Ausdruck des Ohm'schen Gesetzes.

Nach diesem Gesetze ist

$$(9) \quad e = i \cdot w,$$

d. h. die Spannungsdifferenz zwischen den Endpunkten eines Leiters (die in dem Leiter verbrauchte Spannung) ist gleich der Stromstärke, multipliziert mit dem Widerstande des Leiters.

Sind also die Polklemmen einer Batterie durch einen Leitungsdraht von überall gleichem Querschnitte und Leistungsvermögen verbunden, so ist die Spannungsdifferenz zwischen der Mitte des Drahtes und jedem Ende desselben



nur  $e/2$  Volt, wenn die Polklemmenspannung ist. Das Ohm'sche Gesetz gilt nicht allein für den ganzen Schließungsdraht zwischen den Polklemmen, sondern für jeden beliebigen Teil desselben. Verbindet man also die Polklemmen der Batterie durch drei verschiedene Metalldrähte in solcher Weise, daß (Fig. 29) das Ende des einen Drahtes immer mit dem Anfange des

nächsten verbunden ist, so daß ein einfacher Schließungskreis zustande kommt, d. h. die drei Metalldrähte hintereinander geschaltet sind, so ist die elektrische Stromstärke in allen dieselbe. Ist die Stromstärke 1 Amp. und sind  $w_1$ ,  $w_2$  und  $w_3$  bzw. die Widerstände der drei Drähte in Ohm, so ist die Spannungsdifferenz zwischen

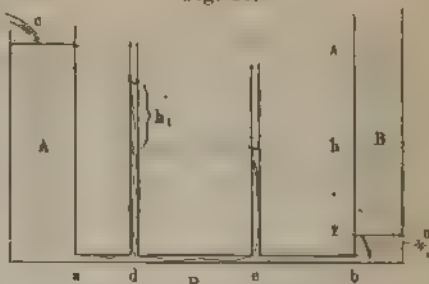
$$\begin{aligned} K^+ \text{ und } c & \dots \dots e_1 = 1 \cdot w_1 \text{ Volt,} \\ c \text{ und } a & \dots \dots e_2 = 1 \cdot w_2 \text{ „} \\ a \text{ und } K^- & \dots \dots e_3 = 1 \cdot w_3 \text{ „} \end{aligned}$$



Ferner ist  $e_1 + e_2 + e_3 = e$  — Polklemmenspannung der Batterie.

Um die Richtigkeit des Ohmschen Gesetzes anschaulich zu machen, betrachten wir noch folgendes hydraulische Analogon (Fig. 30). Zwei Gefäße  $A$  und  $B$  seien durch ein überall gleich weites und horizontal liegendes Rohr  $R$  miteinander verbunden. In  $A$  ströme aus der Leitung  $c$  so viel Wasser ein, wie aus der Öffnung  $o$  in  $B$  abfließt. Dann ist zwischen den

Fig. 30.



freien Oberflächen des Wassers in beiden Gefäßen die unveränderliche Niveaudifferenz  $h$  vorhanden. Das Wasser strömt aus dem Gefäße  $A$  von höherem Niveau zu dem Gefäße  $B$  mit niedrigerem Niveau. Unter der Stromstärke im Rohre  $R$  verstehen wir die Wassermenge, welche pro Sekunde durch jeden Querschnitt des Rohres getrieben wird. Die Stromstärke ist um so größer, je größer die Druckdifferenz zwischen  $A$  lang  $a$  und Ende  $b$  des Rohres ist. Diese Druckdifferenz ergibt sich aus der Niveaudifferenz  $h$ . An den Stellen  $d$  und  $e$  seien in das Rohr  $R$  Glasröhren eingesetzt. Durch die Höhe der Wassersäulen in  $d$  und  $e$  wird an diesen Stellen der im Rohre vorhandene Druck gemessen. Im Rohre  $d$  steht das Wasser um  $h_1$  höher als in  $e$ .  $h_1$  gibt den Druck an, der beim Strömen des Wassers von Querschnitte  $d$  bis nach  $e$  verbraucht wird. Die in den drei Teilen  $a - d$ ,  $d - e$ ,  $e - b$  verbrauchten Drücke sind gleich dem Gesamtdruck zwischen  $a$  und  $b$ . Die Stromstärke im Rohre  $R$  ist ferner um so größer, je kleiner der Widerstand ist, den das Rohr dem Durchströmen der Wassermasse entgegensetzt. Dieser Widerstand wächst ebenfalls mit der Länge des Rohres und fällt um so größer aus, je kleiner der Querschnitt ist. Vom Material des Rohres dagegen ist der Widerstand bei der Wasserströmung unabhängig, dagegen sehr von der Gestalt bzw. von den Krümmungen im Rohre. Der Widerstand, den der elektrische Strom unserer Batterie (Fig. 25) in einem Leitungsdraht zu überwinden hat, ist gleich, ob wir den Draht geradlinig ausspannen oder zu einer Spirale (Spule) aufwickeln. Dagegen ist der elektrische Widerstand eines Leiters, wie bereits hervorgehoben, in hohem Maße vom Material des Leiters abhängig. Sehen wir von diesen Verschiedenheiten zwischen der Wasserströmung und dem elektrischen Strom ab, die sich einfach daraus ergeben, daß in einem Falle eine schwere Flüssigkeit mit innerer Reibung und Reibung an den Rohrwänden bewegt wird, während im anderen Falle ein ungewichtiges elektrisches Fluidum durch den Draht von Teilchen zu Teilchen fortgeführt gedacht wird, so ist doch trotz dieser Unterschiede immerhin der Vergleich zwischen beiden Bewegungen sehr instruktiv.

§ 14. Anwendung des Ohmschen Gesetzes auf den geschlossenen Stromkreis. Im vorigen § 13 ist das Ohmsche Gesetz nur auf den äußeren Widerstand des Schließungskreises oder auf Teile desselben angewandt. Im § 9 ist bereits hervorgehoben, daß die E.M.K. den Strom im ganzen Schließungskreise unterhält, d. h. sie treibt den elektrischen Strom  $i$  sowohl durch den äußeren Widerstand als auch durch die in Reihe geschalteten Elemente, deren Fällung

der Hauptsache nach den inneren Widerstand des Stromkreises bildet. Der ganze Schließungskreis besteht aus dem äußeren Widerstande  $w$  und dem inneren Widerstande  $w_i$ . Um durch beide Widerstände nacheinander den Strom zu treiben, ist nach dem Ohmschen Gesetze die E. M. K.

$$(10) \quad E = i(w_i + w)$$

erforderlich [vergl. Gl. (9)], d. h. die elektromotorische Kraft eines Schließungskreises ist gleich dem Produkte aus der Stromstärke und dem Widerstande des ganzen Schließungskreises. Die E. M. K. wird ebenfalls in Volt gemessen.

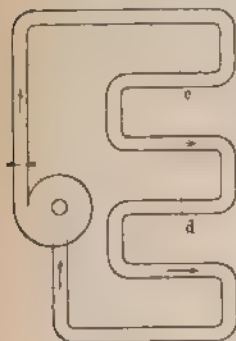
Wir wollen von jetzt ab die Polklemmenspannung mit  $E_p$  bezeichnen, diese wirkt allein im äußeren Widerstande  $w$ , so daß

$$(11) \quad E_p = i.w$$

ist.

Um ein hydraulisches Analogon zu diesem geschlossenen elektrischen Stromkreis zu haben, denken wir uns eine Centrifugalpumpe, Fig. 31, deren

Fig. 31.



Aus- und Eintrittsöffnung durch ein langes Rohr miteinander verbunden sind. Das ganze Rohr und die Pumpe seien mit Wasser gefüllt und durch die motorische Kraft der Pumpe entsteht eine fortdauernde Wasserströmung, die um so intensiver ist, je größer die motorische Kraft der Pumpe und je kleiner der Widerstand ist, den der Strom im Rohre und in der Pumpe selbst findet. Auch hier können wir in ähnlicher Weise wie beim geschlossenen Stromkreise eines galvanischen Elementes von einem äußeren und einem inneren Widerstand sprechen. Durch die motorische Kraft der Pumpe wird zwischen der Austrittsstelle und Eintrittsstelle des Wassers eine Druckdifferenz hervorgerufen, die gebraucht wird, um den Wasserstrom durch die Rohrleitung (den äußeren Widerstand) zu treiben.

Aus den Gleichungen (10) und (11) ergibt sich, daß

$$E = E_p + iw,$$

oder

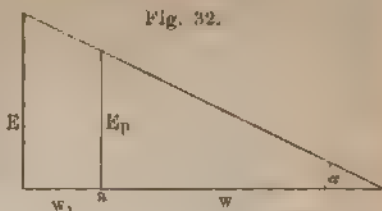
$$(12) \quad E_p = E - iw_i.$$

$E_p$  ist die verfügbare Spannung zwischen den Polklemmen des Elementes;  $iw_i$  ist der Spannungsverlust im Elemente.

Zwischen der E. M. K. und der Polklemmenspannung besteht ein analoges Verhältnis wie zwischen Kessel- und Cylinderdampfspannung. Die letztere ist kleiner als die erstere um den Druckverlust in den Zuleitungsröhren vom Kessel zum Cylinder.

Die Beziehungen zwischen den im Ohmschen Gesetze auftretenden Größen sind durch das Diagramm (Fig. 32) gegeben. Auf der Horizontalen sind nacheinander Strecken angetragen, welche dem inneren Widerstand  $w_i$  und dem äußeren Widerstand  $w$  des Stromkreises proportional sind. Am

Anfangspunkte der Horizontalen ist eine Vertikale konstruiert, deren Länge der E. M. K. der Stromquelle entspricht. Der Endpunkt von  $E$  ist mit dem Endpunkte von  $w_i + w$  verbunden. Das in  $a$  errichtete Lot  $E_p$  stellt die Klemmenspannung dar. Ferner ist  $i = \frac{E}{w_i + w}$ . Je größer  $w$ , desto kleiner wird  $i$  und damit auch  $E_p$ , desto mehr wird  $E_p$  gleich  $E$ . Bei sehr großem äußeren Widerstande ist die Polklemmenspannung praktisch gleich der E. M. K. der Stromquelle.



Beispiele: 1. Ein Kupferdraht von 240 m Länge hat den Querschnitt 10 qmm und das Leitungsvermögen 57. Wie groß ist sein elektrischer Widerstand  $w$ ?

$$w = \frac{240}{10 \cdot 57} = 0,421 \Omega.$$

2. Durch den im vorigen Beispiel genannten Kupferdraht fließt der Strom 20 Ampère. Wie groß ist die Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Drahtes, oder welche Spannung wird verbraucht, um den Strom 20 Amp. durch den Draht zu treiben? Nach der Gleichung (9) haben wir

$$e = i \cdot w = 20 \cdot 0,421 = 8,42 \text{ Volt.}$$

3. Die E. M. K. eines Akkumulators (vergl. § 81) ist 2 Volt, der innere Widerstand desselben 0,05  $\Omega$ . Man verbindet vier Akkumulatoren in Hintereinanderschaltung und legt als äußeren Widerstand zwischen die Polklemmen einen Neusilberdraht von 40 m Länge, 1,5 mm Durchmesser und 0,3  $\Omega$  spez. Widerstand. Wie groß sind die Stromstärke und die Polklemmenspannung der Batterie?

Die E. M. K. der Batterie ist  $4 \times 2 = 8$  Volt. Der innere Widerstand ist  $4 \times 0,05 = 0,2 \Omega$ . Der äußere Widerstand ist  $\frac{40 \cdot 0,3}{1,767} = 6,79 \Omega$ . Demnach ist die Stromstärke nach (10):

$$i = \frac{8}{0,2 + 6,79} = 1,144 \text{ Amp. } E_p = 7,77 \text{ Volt.}$$

Sind  $n$  Elemente hintereinander geschaltet, von denen jedes die E. M. K.  $E$  und den inneren Widerstand  $w_i$  hat, während der äußere Widerstand des Schließungskreises  $w$  ist, so beträgt die Stromstärke

$$(13) \quad i = \frac{nE}{nw_i + w}.$$

4. Eine Glühlampe ist zwischen zwei Leitungen mit der Spannungsdifferenz 110 Volt eingeschaltet. Durch den Kohlenfaden der Glühlampe fließt der Strom 0,5 Amp. Wie groß ist der Widerstand des glühenden Kohlenfadens? Widerstand  $= \frac{110}{0,5} = 220 \Omega$ .

§ 15. Elektrische Widerstände. Rheostate. Nach der in § 13 gegebenen Formel (7) ist der elektrische Widerstand eines Leiters, z. B. eines Metalldrahtes, eine Größe, die allein durch die Dimensionen (Länge und Querschnitt) des Leiters sowie durch das Material bestimmt



ist. Der in Ohm berechnete Widerstand eines Leiters ist also eine feste und unveränderliche Größe, die von der Stromstärke im Leiter ganz unabhängig ist und die so lange auch nicht ändert, wie die Temperatur und das Material des Leiters dieselben bleiben. Insofern jeder Metalldraht, jeder Streifen aus Metallblech u. s. w. einen bestimmten elektrischen Widerstand repräsentiert, bezeichnen wir diese Leiter kurz als Widerstände.

Mit dem Ausdrucke „Widerstand in dem Stromkreise eingeschalten“ soll gesagt sein, daß wir Leiter der bezeichneten Art in Schließungskreise zu den vorhandenen in Hintereinanderschaltung hinzufügen, wodurch nach dem Ohmschen Gesetze (vergl. Gleichung 10) die Stromstärke bei konstanter E.M.K. vermindert wird.

Der elektrische Widerstand eines Leiters hängt von der Temperatur ab und zwar nimmt derselbe bei den Metallen mit wachsender Temperatur zu, dagegen bei der Kohle und bei den Elektrolyten mit wachsender Temperatur ab. Ist  $\alpha$  die Widerstandszunahme in Prozenten pro  $1^\circ \text{C}$ .  $W_T$  der Widerstand eines metallischen Leiters bei  $T^\circ \text{C}$ ,  $W_{T_1}$  dagegen der Widerstand bei der Temperatur  $T_1^\circ \text{C}$ , so ist

$$(14) \quad W_T = W_{T_1} \left[ 1 + \frac{\alpha}{100} (T - T_1) \right].$$

$\frac{\alpha}{100}$  ist der sogenannte Temperaturkoeffizient der Metalle.

Tabelle für  $\alpha$ .

Kupfer . . . . .	$\alpha = 0,38$	Neusilber . . . . .	$\alpha = 0,25$
Eisen . . . . .	$\alpha = 0,48$	Quecksilber . . . . .	$\alpha = -0,001$
Zinn . . . . .	$\alpha = 0,377$	Blei . . . . .	$\alpha = -0,25$

Widerstände aus Neusilberdraht ändern wegen des geringen Temperaturkoeffizienten ihren Betrag also erheblich weniger mit der Temperatur als solche aus Eisen oder Kupfer. Um von der Temperatur sehr unabhängig zu sein, verwendet man für Widerstände, welche zu elektrischen Messungen dienen, Metalllegierungen, die fast unmerklich mit der Temperatur ihren Widerstand verändern. Zu diesen gehören:

Mangankupfer (12,6 Tle. Mangan + 57,4 Tle. Kupfer); spez. Widerstand = 0,43  $\Omega$

Manganin (4 Tle. Nickel, 12 Tle. Mangan und 84 Tle. Kupfer), spez. Widerstand = 0,47  $\Omega$ .

Konstantan (40 Proz. Nickel und 60 Proz. Kupfer); spez. Widerstand = 0,50  $\Omega$ .

Zugleich zeichnen sich diese Legierungen durch einen hohen spez. Widerstand gegenüber den übrigen Metallen aus.

Vorrichtungen, welche dazu dienen, in einem Schließungskreise Widerstände von bekannter Größe ein- und auszuschalten, ohne den

bei zu unterbrechen, nennt man Rheostate. Diese dienen zur Regulierung des Widerstandes eines Schließungskreises eine bestimmte Stromstärke erreicht wird oder zur Widerlegung, die in der Praxis meist durch Vergleichung des un- Widerstandes mit den im Rheostaten enthaltenen bekannten und nach der in § 16 beschriebenen Methode ausgeführt wird.

es sich weniger darum handelt, dem Betrage nach genau be- derstände einzuschalten, sondern vielmehr zur Regulierung des

Fig. 33.

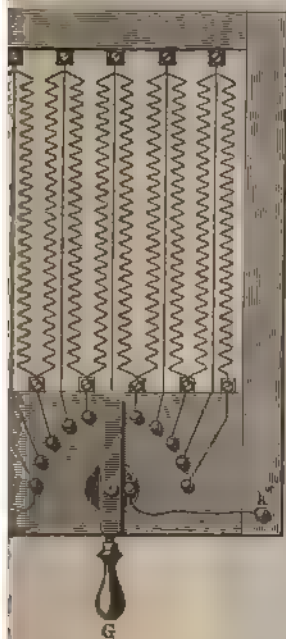


Fig. 34.



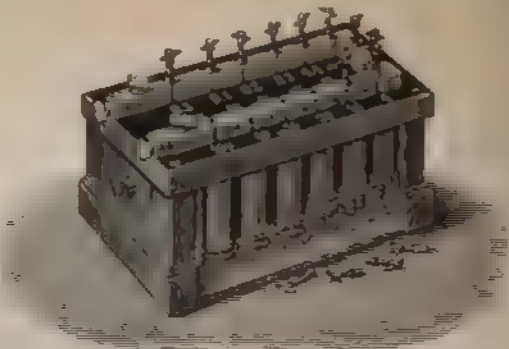
Fig. 35.



nen gewissen Ballastwiderstand in die Leitung zu legen, ver- den in Fig. 33 dargestellten Kurbelrheostaten. Auf einem Rahmen sind frei zur besseren Abkühlung durch Luftzug zwischen Schrauben und den Kontaktknöpfen, über welche die Kurbel be- len kann, eine Reihe von Spiralen, meist aus Neusilber, aus- Je nach der Stellung der Kurbel ist eine größere oder kleinere spiralen und damit ein größerer oder kleinerer Widerstand ein Je weiter der Kurbelkontakt nach links gestellt ist, desto geringer geschaltete Widerstand und desto größer die Stromstärke. In hierauf werden auch meistens die Drähte der Spiralen auf der linken Rheostaten mit größerem Querschnitte gewählt. Fig. 34 zeigt einen und Haeffner in Bockenheim hergestellten Kurbelrheostaten. Die Zwecke der Vergleichung und Messung elektrischer Widerstände Stöpselrheostaten (Fig. 36 a. f. S.). Die Widerstände bestehen zur ung der Selbstinduktion (vergl. § 30) aus bifilar gewickelten Draht- h. der ganze aufgespulte und durch Umspannung von Seide 150-

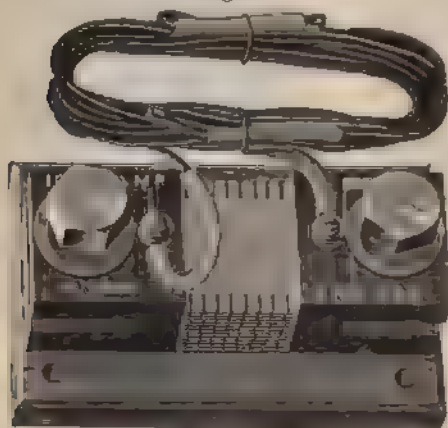
Der Draht aus Nensilber oder Nickelin ist von der Mitte aus zusammengelegt, Fig. 35, und beide Hälften sind gleichzeitig aufgewickelt, so daß

Fig. 36.



Strom in der einen Hälfte der Wickelung eine rechtsgewundene, in der anderen eine linksgewundene Schraubentriebe durchläuft. Die Spulen

Fig. 37.



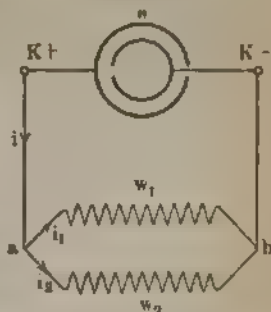
im Inneren des Widerstandskastens befinden sich auf dessen Deckel eine Reihe von Messingklötzen angebracht, mit denen je ein Ende einer Spule und der Anfang der nächsten verbunden ist. Das Ende der letzten Spule und der Anfang der ersten Spule mit zwei Klemmschrauben auf dem Deckel des Kastens verbunden, die dazu dienen, den Apparat im Stromkreis einzuschalten. Zwischen je zwei nebeneinander liegende Messingklötze können genau geschliffene Stöpsel Messing zur Verbindung

der Klötze eingesetzt werden. Sind alle Stöpsel herausgezogen, so fließt der Strom nacheinander durch alle Spulen, diese sind hintereinandergeschaltet. Bei jedem Stöpsel ist der Widerstandswert der entsprechenden Spule in Ohm angegeben. Wird ein Stöpsel zwischen zwei Messingklötzen eingesetzt, so wird damit der Widerstand der zwischen ihnen liegenden Spule ausgeschaltet. Diese Stöpselrheostate können nur schwache Ströme aufnehmen, die meistens geringer als 0,01 Amp. sein müssen, damit dauernde Änderungen der Widerstandswerte eintreten.

Zur Messung hoher Stromstärken stellt man kleine Widerstände von 0,1 bis 0,001  $\Omega$  und noch weniger aus Manganingaze, Manganin- oder Konstantan her, weil diese den Drähten gegenüber eine größere abkühlende Oberfläche haben. Fig. 37 zeigt die Konstruktion eines kleinen Widerstandes, der als Nebenschluß für Weston-Schalttafel-Amperemeter Ströme bis 1000 aufnehmen kann (s. § 25).

§ 16. **Stromverzweigung.** Zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  (Fig. 38) des Schließungskreises eines Elementes  $e$  seien die Widerstände  $w_1$  und  $w_2$  nebeneinander oder parallel geschaltet. Die Enden der beiden parallel geschalteten Widerstände sind mit  $a$ , ihre Enden mit  $b$  verbunden. Die Punkte, an denen mehr als zwei Leiter zusammenstoßen, heißen Verzweigungspunkte. Sind zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  einer Leitung zwei oder mehrere Stromzweige vorhanden, so tritt die Stromverzweigung ein. Haben alle parallel geschalteten Stromzweige gleichen elektrischen Widerstand, so sind auch die Zweigströme einander gleich. Sind dagegen die Widerstände der Stromzweige  $w_1$  und  $w_2$  verschieden, so nimmt derjenige den Strom von größerer Stärke an, der den kleineren Widerstand hat.

Fig. 38.



Die Stärke des von  $K_+$  nach  $a$  (Fig. 38) fließenden Stromes  $i$  ist nach der Summe der abfließenden Ströme, also

$$i = i_1 + i_2.$$

Fließen nach einem Verzweigungspunkte  $i$  (Fig. 39) die Ströme  $i_1$  und  $i_2$ , während die Ströme  $i_3$ ,  $i_4$  und  $i_5$  von  $i$  abfließen, so ist

Fig. 39.

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5.$$

Ist ferner  $e$  die Spannungsdifferenz zwischen  $a$  und  $b$  (Fig. 38), so haben wir nach dem Ohm'schen Gesetze

$$e = i_1 \cdot w_1 \text{ und } e = i_2 \cdot w_2,$$

so auch

$$b) \quad i_1 : i_2 = w_2 : w_1,$$

d. h. die Zweigströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände.

Bezeichnen wir den Widerstand, den das System der beiden parallel geschalteten Leiter zwischen  $a$  und  $b$  darstellt, mit  $w$ , so ist auch

$$e = i w,$$

dem  $i$  die Stärke des ganzen Stromes ist, der von  $a$  nach  $b$  übergeht.

Wir haben ferner  $e = (i_1 + i_2) w$  oder auch

$$c) \quad e = \left( \frac{e}{w_1} + \frac{e}{w_2} \right) w, \text{ also } \frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}.$$

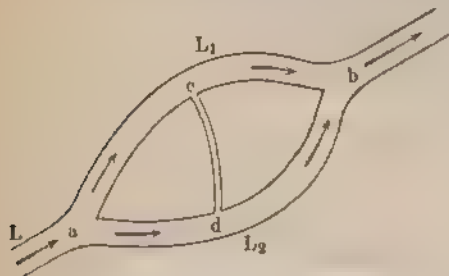
d. h. der reziproke Wert des Widerstandes des Systems der parallel geschalteten Leiter ist gleich der Summe der rezi-

proben Widerstände der einzelnen parallel geschalteten Leiter.  $1/w$  ist das Leistungsvermögen des Systems paralleler Leiter. Dasselbe ist gleich der Summe der Leistungsvermögen der parallel geschalteten Leiter. Dagegen ist bei der Hintereinanderschaltung der Widerstände der gesamte Widerstand gleich der Summe aller einzelnen Widerstände. So ist nach Fig. 29 der äußere Widerstand des Schließungskreises

$$w = w_1 + w_2 + w_3.$$

Lassen wir ein Wasserleitungsrohr (Fig. 40) sich in die Leitung  $L_1$  und  $L_2$  verzweigen, die sich nachher wieder vereinigen, so wird in

Fig. 40.

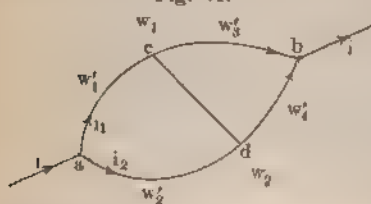


Rohren  $L_1$  und  $L_2$ , der Druck vermindert, als der Wasserdruck zwischen  $a$  und  $b$ . Dasjenige Rohr, das die größere Wassermenge hat, also die größere Widerstandsfähigkeit, welches den kleineren Widerstand bietet. Man zwischen  $c$  und  $d$  Verbindungsleitung her, so würde in dieser der von  $c$  nach  $d$  fließen, in  $c$  der Druck größer, als in  $d$ . In  $cd$  entsteht Strömung, wenn der

bei  $c$  gleich demjenigen bei  $d$  ist. Für diesen Fall ist der Druckunterschied zwischen  $a$  und  $c$  gleich dem zwischen  $a$  und  $d$ .

Verbindet man einen Punkt  $c$  (Fig. 41) längs des Widerstandes  $w_1$  mit einem Punkt  $d$  des parallel geschalteten Widerstandes  $w_2$  durch einen Leiter

Fig. 41.



draht, so fließt im allgemeinen Strom in  $cd$ .  $w_1$  und  $w_2$  können zwei Metalldrähte sein, die ganz ausgespannt oder, wie in den Rheostaten, zu Spiralen aufgewickelt sind. Ist die Spannung in  $c$  größer als in  $d$ , so fließt der Strom von  $c$  nach  $d$ . Teilt der Punkt  $c$  den Widerstand  $w_1$  in die beiden Teile  $w'_1$  und  $w''_1$  und  $d$  den Widerstand  $w_2$  in die

Teile  $w'_2$  und  $w''_2$ , so ist die Spannungsdifferenz zwischen  $c$  und  $d$  gleich Null, oder der Leiter  $cd$  ist stromlos, wenn

$$i_1 w'_1 = i_2 w'_2,$$

und wenn

$$i_1 w''_1 = i_2 w''_2.$$

Die erstere Gleichung besagt, daß die Spannungsdifferenz zwischen  $c$  und  $d$  gleich derjenigen zwischen  $a$  und  $d$  ist, also die Spannung in  $c$  gleich derjenigen in  $d$ .

Die Verbindungsleitung  $cd$  ist also stromlos, wenn

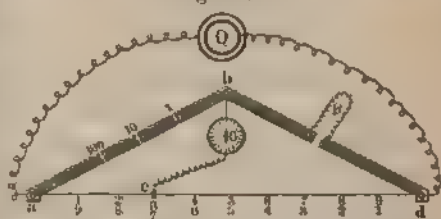
$$(17) \quad w'_1 : w'_2 = i_1 : i_2.$$

Diese Verzweigung (Fig. 41) ist von Wheatstone benutzt, um Widerstände miteinander zu vergleichen. Schaltet man nämlich an Stelle

den Leiter mit unbekanntem Widerstand  $x$  und für  $w_1$  einen Stöpselreostaten ein, dessen Widerstand so lange verändert wird, bis ein in die Brücke  $cd$  geschalteter Strommesser keinen Strom anzeigt, so verhält sich der Widerstand  $x$  zu dem durch den Stöpselreostaten eingeschalteten wie  $w_1$ . Sind letztere beiden einander gleich, so gibt der Stöpselreostat direkt den gesuchten Widerstand an.

Hiervon wird bei der Kirchhoffschen Brücke Anwendung gemacht, da hier es sich um Bestimmung des Verhältnisses des zu messenden Widerstandes zu einem bekannten Widerstand (Vergleichswiderstand) handelt. In Fig. 42 ist eine schematische Anordnung des Apparates gegeben. Der Strom des Elementes  $Q$  teilt sich in die Zweige  $abd$  und  $acd$ . Zwischen  $a$  und  $d$  ist ein feiner Draht aus Platin Silber oder Nickel in gespannt und neben demselben liegt ein Maßstab mit Teilung. An dem Drahte gleitet der bewegliche Kontakt  $c$ .  $R$  ist der unbekannte Widerstand, der durch zwei kräftige Schienen aus Messing oder Kupfer mit  $b$  und  $d$  verbunden ist. Zwischen  $b$  und dem Gleitkontakt  $c$  liegt die „Brücke“ mit dem Galvanoskop (siehe Fig. 49). Je nach der Größe von  $R$  wird 1, 10 oder 100  $\Omega$  als Vergleichswiderstand gewählt. Man bewegt den Kontakt  $c$  an die Stelle des Meßdrahtes  $ad$ , für welche das Galvanoskop stromlos wird. Ist dieses der Fall für die Stelle 3 und haben wir als Vergleichswiderstand 10  $\Omega$  genommen, so ist

Fig. 42.



$$10 : R = 3 : 7,$$

da auch die Widerstände der Drahtstücke  $ac$  und  $cd$  direkt wie die Längen derselben verhalten.

$$R = \frac{10 \cdot 7}{3} = 23,33 \Omega.$$

Beispiele: 1. Zwischen den Kupferschienen  $A$  und  $B$  (Fig. 43) sind 12 Neusilberdrähte, von denen jeder 5,1 m lang ist und den Durchmesser

Fig. 43.

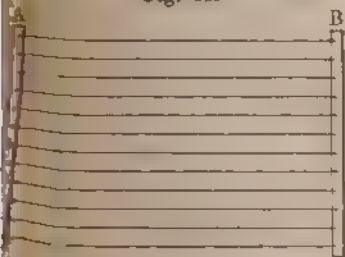
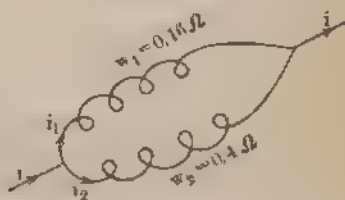


Fig. 44.



hat, parallel geschaltet. Die Neusilberdrähte sind nur an ihren Enden den Kupferschienen verlötet. Der spezifische Widerstand des Neusilbers 0,361 bei 15° C. Wie groß ist der Widerstand zwischen  $A$  und  $B$ ?

Der Widerstand eines Neusilberdrahtes ist 0,8032  $\Omega$ . Demnach ist nach Gleichung (16) der gesamte Widerstand  $\frac{0,8032}{12} = 0,0669 \Omega$ . Diese in



der Aufgabe beschriebene rostartige Anordnung von Neusilberdrähten dient zur Herstellung kleiner Widerstände.

2. Der Strom  $i = 32$  Ampere verzweigt sich (Fig. 64, a v. S.) in die Widerstände  $w_1 = 0,16 \Omega$  und  $w_2 = 0,4 \Omega$ . Wie groß sind die Zweigströme  $i_1$  und  $i_2$ , und wie groß ist der Widerstand  $w$  des Systems der beiden parallel geschalteten Leiter? Wie groß ist die Spannungsdifferenz  $e$  zwischen den Verzweigungspunkten?

$$i_1 = 22,837 \text{ Amp.}, \quad i_2 = 9,143 \text{ Amp.} \\ e = 3,657 \text{ Volt.}$$

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} \quad \text{oder} \quad w = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2} = 0,114 \Omega.$$

§ 17. Elektrische Energie. Gesetz von Joule. Die mechanische Energie eines Wasserstromes ergibt sich als das Produkt aus dem Gefälle (in Meter) und aus der Wassermenge, welche pro Sekunde durch den Querschnitt des Wasserlaufes hindurchströmt. So ergibt sich die mechanische Energie eines Wasserfalles aus dem Gewichte des Wassers, das pro Sekunde herunterstürzt, multipliziert mit der Höhe des Falles. Das Wassergewicht wird in Kilogramm pro Sekunde angegeben, die Fallhöhe in Meter, und demgemäß ergibt sich die mechanische Energie in Sekunden-Meter-Kilogramm (sek-m-kg).

Wird in einem Leiter vom Widerstande  $w \Omega$  die Spannung  $e$  Volt verbraucht, um durch den Leiter den Strom  $i$  Amp. zu treiben, so ist die im Leiter verbrauchte elektrische Energie

$$(18a) \quad A = ei \text{ Volt-Ampere oder Watt.}$$

Vergleichen wir diesen Ausdruck mit dem für die mechanische Energie, so entspricht der Stromstärke oder der Elektrizitätsmenge, welche pro Sekunde durch den Leitungsquerschnitt strömt, das Wassergewicht pro Sekunde, der Spannungsdifferenz das Gefälle.

Da nach dem Ohmschen Gesetze [vergl. Formel (9)]

$$e = iw$$

ist, so erhalten wir auch

$$(18b) \quad A = i^2 w \text{ Watt.}$$

Diese im Leiter mit dem Widerstande  $w$  verbrauchte elektrische Energie wird in Wärme verwandelt, in jedem stromdurchflossenen Leiter findet also eine Verwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie statt.

Kalorimetrische Untersuchungen haben gezeigt, daß bei 1 Watt Energieverbrauch im Leiter die Wärmemenge 0,24 g-cal. pro Sekunde hervorgebracht wird. Ist also zwischen den Klemmen des Widerstandes  $w \Omega$  bei der Stromstärke  $i$  Amp. die Spannungsdifferenz  $e$  Volt vorhanden, so wird in diesem Widerstande in  $t$  Sekunden die Wärmemenge

$$Q = 0,24 \cdot e \cdot i \cdot t = 0,24 \cdot i^2 \cdot w \cdot t \text{ g-cal.}$$

ragt.

Demnach ist die in einem Leiter durch den elektrischen Strom entwickelte Wärme — die Stromwärme — proportional dem Quadrate der Stromstärke und dem Widerstande des Leiters (Joulesches Gesetz).

Schaltet man einen Leiter, z. B. einen Metalldraht, im Schließungskreise so, so steigt infolge der Stromwärme die Temperatur des Leiters an bis zu einer bestimmten Höhe, die erreicht ist, wenn die im Leiter durch den Strom entwickelte Wärmemenge gleich der in derselben Zeit nach aussen durch Abstrahlung und Leitung abgegebenen Wärmemenge ist. Die vom Leiter ausstrahlte Wärmemenge hängt von der Beschaffenheit und Grösse der Oberfläche des Leiters ab und nimmt mit der Temperaturdifferenz zwischen Leiter und Umgebung zu.

Damit ein Leitungsdraht durch den elektrischen Strom nicht übermässig erhitzt wird, wodurch die Isolation beschädigt werden und der Leiter ferner in der Nähe leicht brennbarer Stoffe zur Feuergefahr Anlaß geben kann, muß der Querschnitt des Leiters der Stromstärke entsprechend gewählt werden. Unter Stromdichte versteht man die Stromstärke pro Quadratmeter des Querschnittes des Leitungsdrahtes. Für isolierte Leitungen aus Kupfer ist bis zu 10 Amp. Stromstärke eine Stromdichte von 4 Amp. d. h. ein Kupferdraht von 2,5 qmm Querschnitt darf nicht mehr als 10 Amp. leiten.

Bei 30 Amp. wird nur noch eine Stromdichte von 3 Amp. für zulässig gehalten, für diese Stromstärke ist also ein Querschnitt von 10 qmm mindestens erforderlich. Je höher die Stromstärke, desto geringer ist bei den isolierten Drähten und Kabeln aus Leitungskupfer die Stromdichte (für 1000 Amp. ein Leitungsquerschnitt von mindestens 1000 qmm erforderlich, also Stromdichte = 1 Amp.). Diese Abnahme der Stromdichte mit wachsendem Querschnitt ist nötig, weil der Querschnitt mit dem Quadrate des Durchmessers, die abkühlende Oberfläche aber nur im gleichen Verhältnis mit dem Durchmesser wächst.

Nach dem ersten Hauptsatze der Wärmelehre ist die Arbeit 1 m kg äquivalent der Wärmemenge 1 kg-cal. Ein Watt Energieverbrauch gibt 0,24 g-cal. = 0,000 24 kg-cal. pro Sekunde. Dieser Wärmemenge entspricht aber die Arbeit 427 · 0,000 24 m-kil pro Sekunde = 0,102 Sekundenmeterkilogramm.

$$1 \text{ Watt} = 0,102 \text{ Sekundenmeterkilogramm}$$

$$\text{oder } 9,81 \text{ „} = 1 \text{ „}$$

Mithin sind

$$75 \text{ Sek-m-kil} = 1 \text{ PS} = 736 \text{ Watt.}$$

Damit ist die Beziehung zwischen der elektrischen und mechanischen Energie gegeben.

Würde man zwei Punkte einer elektrischen Leitung, zwischen denen eine beträchtliche Spannungsdifferenz vorhanden ist, durch einen Leiter von sehr geringem Widerstande verbinden, etwa die von den Polen einer Batterie oder Dynamo ausgehenden Hauptleitungen durch einen kurzen Metalldraht, so entsteht ein sehr starker Strom



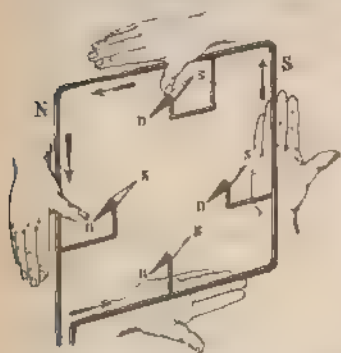
in diesem Draht, der in den meisten Fällen bei genügend hoher Spannung sogleich glühend wird. In diesem Falle würde ein „Kurzschluss“ zwischen den Leitungen herbeigeführt. Der Kurzschluss hat immer ein Anwachsen der Stromstärke sehr weit über den normalen und zulässigen Betrag zur Folge und durch besondere Einrichtungen (siehe Sicherungen, § 122) sind die Folgen eines unbesichtigten Kurzschlusses möglichst zu beseitigen. Infolge des Kurzschlusses findet ein plötzlicher und gewaltiger Ausgleich der Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten der Leitung statt, und damit wird eine große Menge elektrischer Energie nach der Gleichung (19) in Wärme verwandelt. Welcher Widerstand beim Einschalten zwischen zwei Punkten, zwischen denen die Spannungsdifferenz  $e$  Volt vorhanden ist, bereits eine ungewöhnliche Stromstärke ergibt, lässt sich nach dem Ohmschen Gesetze  $i = e/w$  leicht beurteilen. In den meisten Fällen findet ein Kurzschluss dadurch statt, dass durch Unvorsichtigkeit oder infolge mangelhafter Verlegung zwischen zwei Leitungen eines Leitungnetzes, zwischen denen die volle Betriebsspannung vorhanden ist, eine fast widerstandslose Verbindung entsteht.

### Drittes Kapitel.

### Elektromagnetismus.

§ 18. Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom, Multiplikator. In § 12 haben wir bereits die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom behandelt. Zum

Fig. 45.



bequemen Nachweis der Wirkung des Stromleiters auf die Magnetnadel dient der Apparat Fig. 45. Der zum Rechteck gebogene dicke Kupferdraht wird so gestellt, dass die Ebene des Rechtecks vertikal und im magnetischen Meridian liegt. Solange der Draht stromlos ist, liegen die magnetischen Achsen der Nadeln in der Ebene des rechteckigen Stromleiters. Fließt ein Strom durch den Draht, so werden

die Nadeln aus dem magnetischen Meridian abgelenkt. Zur Bestimmung der Ablenkung der Magnetnadel dient die auf S. 11 gegebene Regel.

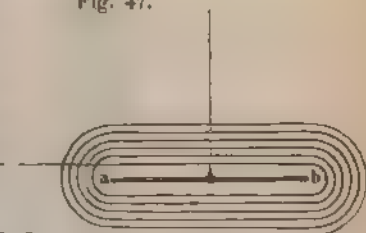
Um die Wirkung des Stromes zu vergrößern, legen wir um Magneten einen Bügel aus Kupfer- oder Messingblech wie in 46, oder wir lassen den Strom durch viele parallel und dicht

Fig. 46.



zusammenliegende Windungen aus isoliertem Kupferdraht (Fig. 47) wickeln. Die Ebene der Windungen wird vor dem Einschalten in den Stromkreis in den magnetischen Meridian gebracht. Je dichter die Windungen die Nadel umschließen und je größer die Zahl derselben ist, desto größer ist auch die vom Strom ausgeübte Kraft. Der elektrische Strom hat das Bestreben, die magnetische Achse der Magnetnadel senkrecht zu den Windungsebenen, also in die Ost-West-Richtung, zu stellen; während der Erdmagnetismus die Nadel in die Nord-Süd-Richtung zurückzudrehen sucht. Die Magnetnadel nimmt solche Lage an, daß das vom Strom ausgeübte Drehungsmoment gleich dem vom Erdmagnetismus ausgeübten ist.

Fig. 47.



Die hier besprochenen Wirkungen des Stromes bieten ein bequemes Mittel, das Vorhandensein und die Richtung eines Stromes nachzuweisen. Handelt es sich nur um den Nachweis eines schwachen Stromes, so bringen wir auf die in Fig. 48 abgebildete Spule aus Holz Windungen aus Kupferdraht, der durch Umwickeln von Seide isoliert ist.

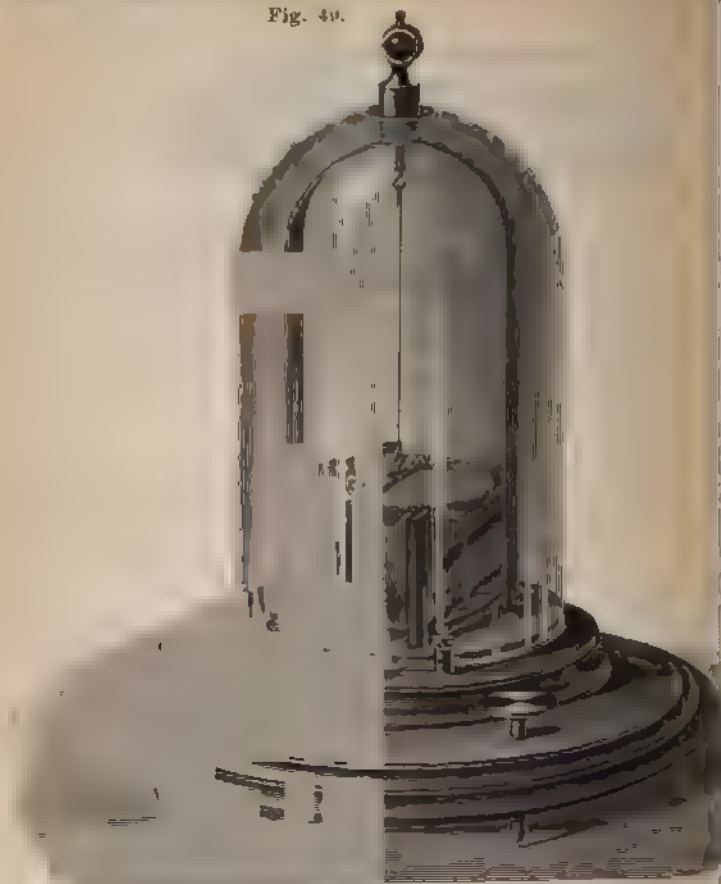
Fig. 48.



Die bewickelte Spule ist ein sogenannter Multiplikator. Im Inneren der Spule befindet sich die Magnetnadel, welche entweder auf einer Stahlstütze ruht oder an einem einfachen Seidenfaden (Korbfaden) aufgehängt ist. Damit erhalten wir das in Fig. 49 abgebildete Instrument. Über den Spulen befindet sich eine Teilung, auf welcher ein an dem Tragstäbchen des Magneten befestigter Zeiger aus Aluminium spielt. Instrumente der beschriebenen Art, welche nur dazu dienen, das Vorhandensein eines Stromes überhaupt nachzuweisen, heißen Galvanoscope; sind dagegen die Instrumente so eingerichtet, daß sie zur Messung der Stromstärke dienen, so heißen sie Galvanometer. Alle diese Instru-

mente sind wegen der feinen Bewickelung der Spulen direkt nur zur sehr schwacher Ströme brauchbar. Da die Ablenkung der Magnetnadel aus dem magnetischen Meridian durch den elektrischen Strom in allen Fällen, wenigstens für größere Ablenkungen als  $5^\circ$ , nicht der Stellung

Fig. 49.

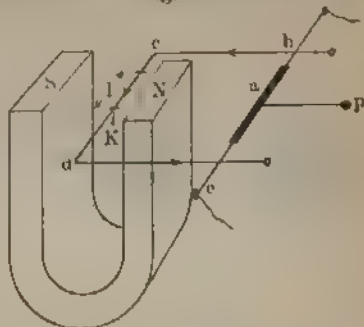


Stromes proportional ist, so muß meistens für zahlreiche Ablenkungen die gehörige Stromstärke durch Eichung mit einem Voltameter ermittelt werden. Durch eine dem Instrumente beigegebene Eichungskurve kann dann die Abhängigkeit der Stromstärke in den Windungen von der Ablenkung der Magnetnadel dargestellt werden. Der Gebrauch dieser Galvanometer wird sehr in der Nähe elektrischer Maschinen und Stromleitungen, weil diese die Ablenkung der Magnetnadel beeinflussen. In allen Fällen ist auch vor dem Einschalten eine sorgfältige Einstellung erforderlich. Hiervon sind in § 25 besprochenen Strommesser mit beweglicher Spule frei, die die weiteste Verbreitung in der Praxis gefunden haben.

**§ 19. Die Wirkung des magnetischen Feldes auf den Stromleiter.** Der zweimal rechtwinklig gebogene Draht (Fig. 50.)

*bde* ist um die Achse *be* drehbar. Das Mittelstück *a* der Achse besteht aus Isothermaterial. Der Strom wird an den Enden *b* und *c* zugeführt und abgeleitet durch sehr feine Kupferdrähte, die die Bewegung des Kupferdrahtbügels nicht hemmen. Durch das Gegengewicht *p* wird der stromlose Draht *bde* in horizontaler Lage gehalten. Fließt ein Strom von *c* nach *d*, so wird nach der Handregel (vergl. § 9) auf den Nordpol des Magneten eine nach oben gerichtete Kraft ausgeübt. Der Nordpol oder das magnetische Feld übt auf den Stromleiter in der entgegengesetzten Richtung dieselbe Kraft aus nach dem Grundgesetze der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung. Auf den Stromleiter *cd* wird also unter den angegebenen Verhältnissen die Kraft *K* (Fig. 50) wirken.

Fig. 50



Die vom magnetischen Felde ausgeübte Kraft *K* nimmt die entgegengesetzte Richtung an, wenn entweder die Stromrichtung in *cd* gewechselt wird, oder die Richtung der Kraftlinien in die entgegengesetzte übergeht. Die Kraft *K* ist senkrecht sowohl zum Stromleiter *cd* als auch senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien. Der um die Achse *a* drehbare Stromleiter *cd* wird also zunächst senkrecht zur Richtung der Kraftlinien bewegt. Die Kraft *K*, welche auf das Stück *l* des Stromleiters ausgeübt wird, ist proportional 1. der Stromstärke im Leiter *cd*, 2. der Feldstärke und 3. der Länge *l*.

Befindet sich ein Stromleiter von der Länge *l* cm in einem gleichförmigen magnetischen Felde, dessen Stärke *H* ist (*H* Kraftlinien pro Quadratcentimeter<sup>1</sup>), und setzen wir voraus, daß der Stromleiter senkrecht zur Richtung der Kraftlinien liegt, so wird bei der Stromstärke *i* Ampère auf ihn die Kraft

$$(21) \quad K = \frac{H \cdot l \cdot i}{10} \text{ Dynen} = \frac{H \cdot l \cdot i}{9810000} \text{ kg}$$

ausgeübt.

<sup>1</sup> *i* = 10 ist die Stromstärke in absoluten Einheiten. Die absolute Einheit der Stromstärke hat also den zehnfachen Wert des Ampère.

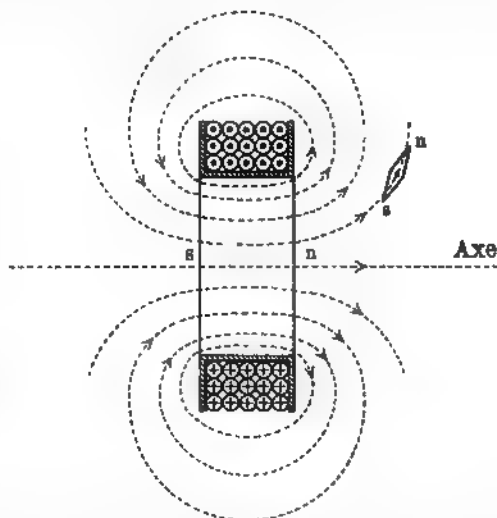
§ 20. Das magnetische Feld einer Stromspule. Solenoid. Auf einem Cylindermantel sei in Schraubenlinien ein isolierter Kupferdraht in dicht nebeneinander liegenden Windungen aufgewickelt, so daß die Windungsebenen zur Cylinderachse senkrecht sind. Der Draht kann in einer Lage oder auch in mehreren Lagen übereinander liegen. Ein solches Drahtsystem bezeichnet man, wenn es kurz und gedrungen ist, als Spule, wenn es dagegen lang und gestreckt ist, als Solenoid.

Fig. 51 stellt einen Schnitt durch die Achse dieser Spule dar. Die kleinen Kreise sind die Querschnitte des aufgespulten Kupferdrahtes. Die Punkte (Pfeilspitze) deuten an, daß der Strom aus der Ebene der Zeichnung heraus nach dem Beschauer gerichtet ist; die Kreuze (Schaft des Pfeiles der Stromrichtung) dagegen, daß der Strom in die Zeichenebene hinein, also vom Beschauer fort fließt. Eine solche vom Strome durchflossene Spule soll kurz als Stromspule bezeichnet werden.

Wir legen nach Fig. 52 durch die Achse der Spule einen Papierschirm, so daß die eine Hälfte der Spule oberhalb, die andere unterhalb des Schirmes liegt und die Windungsebenen sämtlich zum Schirme senkrecht stehen. Fließt ein Strom durch die Spule und schütten

Fig. 52.

Fig. 51.



wir mit einem feinen Siebe Eisenfeilspäne auf den Schirm, so erhalten wir ein Kraftliniendiagramm, das in Fig. 52 dargestellt ist. Im Innern der Spule laufen die Kraftlinien fast einander parallel; besonders im Mittelpunkt der Spule ist das Feld fast gleichförmig. In der Nähe der Windungen liegen im Innenraum der Spule die Kraftlinien dichter als in der Achse. Die Kraftlinien sind dabei geschlossene Kurven. Die ganze Schar der Kurven zerfällt in zwei symmetrisch zur Achse liegende Gruppen. Beide Gruppen sind mit der Spule wie drei Kettenglieder miteinander verbunden.

Fig. 53 stellt eine langgestreckte Spule (Solenoid) dar. Der Verlauf der Kraftlinien ist ebenfalls angedeutet. Im Innern der Spule laufen die Kraftlinien fast parallel. Das Kraftliniendiagramm Fig. 53 hat große Ähnlichkeit mit dem eines Stabmagneten (vergl. Fig. 9 u. 11). Jede Spule, in welcher alle Windungen in derselben Richtung vom Strome durchflossen werden, hat an der einen Endfläche einen Nordpol.

an der anderen einen Südpol. Die Pole der Stromspule werden leicht durch eine in die Nähe gebrachte Magnetaedel ermittelt. Blickt man auf eine der Endflächen der Spulen (Fig. 53 und Fig. 52), so liegt an dieser Endfläche der Südpol der Spule, wenn für den

Fig. 53.

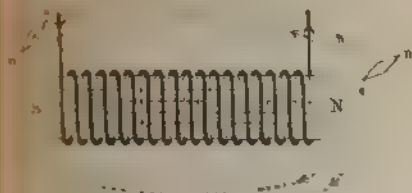
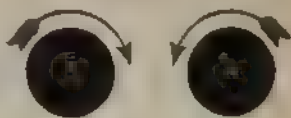


Fig. 54



Beschauer der Strom im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers die Endfläche umläuft. Schaut man von *a* aus (Fig. 51) gegen die Nordpolfläche der Spule, so fließt für den Beschauer der Strom um die Endfläche entgegen der Richtung der Uhrzeigerbewegung (Fig. 54).

Bei Spulen, deren Länge im Vergleich zum Durchmesser der Windungen groß ist, erhalten wir in dem von den Windungen umschlossenen Raum, abgesehen von den Teilen desselben in der Nähe der Endflächen der Spule, ein fast gleichförmiges Feld, dessen mittlere Feldstärke *H* proportional dem Produkte aus der Stromstärke *i* und der Windungszahl *n* der Spule, d. h. proportional den Ampèrewindungen ist. Ist *L* die Länge der Spule, so ist

$$(22) \quad H = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{ni}{L}.$$

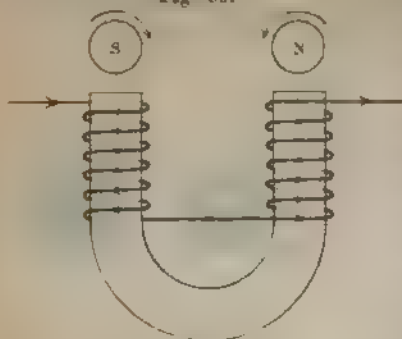
*H* ist die Kraft in Dynen, welche auf einen im Innern der Spule liegenden Einheitspol ausgeübt wird. Diese Kraft wird als magnetisierende Kraft bezeichnet, denn sie bildet die Ursache der Magnetisierung eines Eisenkernes, der in das Innere der Spule gebracht wird.

Nochmals sei dabei bemerkt, daß *H* die Zahl der Kraftlinien ist, die durch ein Quadratcentimeter, das zur Richtung der Kraftlinien senkrecht liegt, hindurchgehen,

§ 21. Der Elektromagnet. Magnetische Induktion des Eisens. Bringen wir in das Innere der Spule (Fig. 53) einen Eisenstab, so wird derselbe magnetisiert; wir erhalten einen Elektromagneten, der um so kräftiger wird, je größer die magnetisierende Kraft der Spule ist. Einen Stab Rundeseisen (Fig. 55, a. f. S.) biegen wir U-förmig und bewickeln jeden Schenkel mit der gleichen Zahl dicht zusammenliegender Windungen aus isoliertem Kupferdraht in einer oder mehreren Lagen. Die Kreise stellen die darunter liegenden Polflächen dar, und die Pfeile geben an, in welcher Richtung der Strom die Endflächen

umflusst für den, der von oben gegen die Endfläche blickt. Fig. 55 stellt einen hufeisenförmigen Elektromagneten dar. Zur Erregung der

Fig. 55.



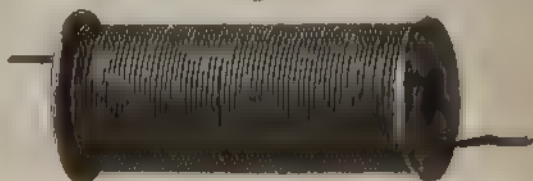
Magneten können wir auch über jeden Schenkel eine Spule (Magnetspule) (Fig. 56) schieben. Der Strom fließt zunächst durch die eine, dann durch die andere Spule und die Verbindung der Spulen ist so gewählt, daß an der einen Endfläche des Magneten ein Nordpol, an der anderen ein Südpol entsteht.

Stellen wir den Elektromagneten so auf, daß die Schenkel vertikal stehen, und bedecken wir

die Pole mit einem Schirm aus Pappe oder Glas, der mit Eisenfeilspänen bestreut wird, so ergibt sich das Kraftliniendiagramm Fig. 57.

In reiner Form kann man den Vorgang der Magnetisierung nur dann untersuchen, wenn die im Eisen erzeugten Kraftlinien überhaupt

Fig. 56.



nicht in die Luft austreten. In Fig. 58 ist eine ringförmige Spule dargestellt, deren  $n$ -Windungen dicht zusammen liegen sollen. Besteht

Fig. 57.



der Innenraum der Spule aus Luft, Holz oder irgend einem anderen unmagnetischen Material, so ist an jeder Stelle im Innern der Windungen die Feldstärke  $H$  nach der Gleichung (22) gegeben wobei  $i$  die Stromstärke in den Windungen und  $L$  die mittlere Länge der Kraftlinien ist, die sämtlich konzentrische

Kreise sind. War das Innere der Spule ganz mit einem Eisenkern ausgefüllt, so würde dieser magnetisiert; wir erhielten einen pollosen Magneten. Im Eisen würde die Zahl der Kraftlinien dabei nach § 2



gewöhnlich größer sein als in der Luft. Unter der Induktion  $B$  im Eisen verstehen wir die Zahl der Kraftlinien, die pro Quadratcentimeter hervorgebracht werden. Lässt man den Strom  $i$  von 0 an wachsend verschiedene Werte annehmen, so ergibt sich nach der Gleichung (22) nach die zu jeder Stromstärke gehörende magnetisierende Kraft  $H$ . Für jeden Betrag derselben kann die Induktion  $B$  im Eisen durch physikalische Messungen ermittelt werden, wobei die im Kapitel 4 behandelten Induktionsströme gemessen werden, die in einer zweiten

Fig. 58.

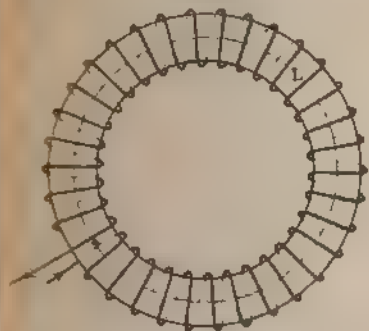
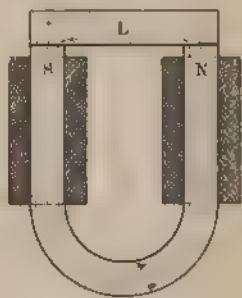


Fig. 59.



sekundären Bewicklung des Eisenkernes auftreten, wenn der Strom in der Magnetisierungsspule unterbrochen oder umgekehrt wird. Wir wollen auf diese schwierigen Messungen hier nicht eingehen, sondern den folgenden einfachen Versuch zur Ermittlung der Magnetisierung des Eisens, d. h. der Abhängigkeit der Induktion  $B$  von der magnetisierenden Kraft  $H$  anstellen.

Legen wir auf die rechteckigen Polflächen des Magneten (Fig. 59) einen Eisenstab (Anker), der mit dem Kerne gleichen Querschnitt  $Q$  haben soll, so gehen durch diesen Eisenstab sämtliche Kraftlinien vom Nordpol zum Südpol des Magneten über. Wir erhalten einen geschlossenen, nur im Eisen verlaufenden magnetischen Kraftlinienfluss. Die mittlere Länge der Kraftlinien ist mit  $L$  bezeichnet. Der Kraftlinienfluss im Eisen ist um so größer, je größer die Anzahl der Ampèrewindungen pro Längeneinheit (cm) des mittleren Kraftlinienweges  $L$  ist.

Ist für irgend eine Stromstärke  $i$  in der Magnetspule  $B$  die Induktion im Kerne des Magneten, so dass also  $B \cdot Q$  Kraftlinien in den Anker übertreten, so wird dieser an jedem Pole mit der Kraft

$$(3) \quad P = \frac{B^2 \cdot Q}{8\pi} \text{ Dynen}$$

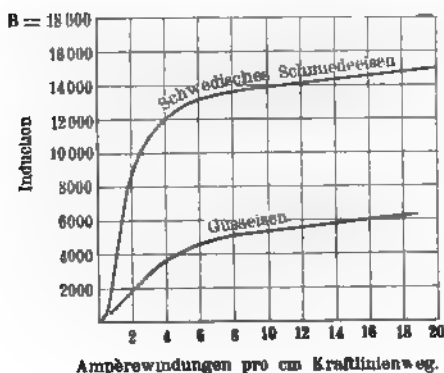
gehalten.  $2P$  ist die Kraft, welche erforderlich ist, um den Anker von den Polen abzureißen. Ermittelt man  $P$  und daraus  $B$  für verschiedene Stromstärken in der Magnetspule, so ergibt sich der Zusammenhang zwischen der magnetischen Induktion  $B$  und den Ampèrewindungen pro Centimeter des mittleren Kraftlinienweges.



Diese Abreißmethode liefert nur weniger genaue Resultate, ist jedoch für praktische Untersuchungen vielfach in Vorschlag gebracht. (Vergl. Fischer-Hinnen, Die Wirkungsweise, Berechnung und Konstruktion elektrischer Gleichstrommaschinen, 4. Aufl., S. 178.) Großen Einfluß auf die Induktion  $B$  üben die sehr schmalen Luftzwischenräume zwischen Polfläche und Anker aus, selbst wenn nach sorgfältigster Bearbeitung der Flächen eine innige Berührung zustande kommt. In Fig. 59 liegen die magnetisierenden Windungen nur auf einem Teile des Kernes, dieselben können besser über den ganzen Kern des Magneten gleichmäßig verteilt werden.

§ 22. Die Magnetisierungskurve. Stellt man in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die Induktion  $B$  im Eisen als Ordinate und die Ampèrewindungen pro Centimeter des mittleren Kraftlinienweges

Fig. 60.



als Abscissen dar, so ergibt sich die Magnetisierungskurve (Fig. 60). Bei der am Schlusse des vorigen Paragraphen erwähnten Abreißmethode wählt man Kern und Anker aus demselben Material.

Die Ampèrewindungen pro Centimeter des Kraftlinienweges mit  $\frac{4\pi}{10}$  multipliziert, ergeben die magnetisierende Kraft  $H$ , wobei in der Gleichung (22)  $L$  die mittlere Länge des Kraftlinienweges ist (siehe Fig. 59).

Solange die Magnetisierungsspule stromlos ist, d. h.  $H = 0$ , ist auch  $B = 0$ . Bis zum Werte  $H = 1$  Dyn steigt für Schmiedeeisen  $B$  zunächst langsam gleichmäßig an, so daß für  $H = 1$  Dyn  $B$  etwa den Wert 500 erreicht. Wenn  $H$  von 1 bis 5 Dynen zunimmt, so steigt  $B$  sehr rasch an, etwa bis zu 12 000 Kraftlinien pro Quadratcentimeter. Für dieses Intervall  $H = 1$  bis 5 verläuft die Magnetisierungskurve fast geradlinig und sehr steil. Von nun an erfolgt eine starke Krümmung der Kurve, die bei etwa  $H = 7$  Dynen am größten ist. Von  $H = 12$ , wo  $B$  etwa 14 000 ist, steigt die Kurve nur noch langsam an, nachdem das Eisen mit Kraftlinien fast gesättigt ist.

Für andere Eisensorten zeigen die Magnetisierungskurven einen anderen Verlauf (Fig. 60), indem chemische Zusammensetzung, mechanische Behandlung u. s. w. denselben beeinflussen. Im ganzen genommen haben alle Magnetisierungskurven ein ähnliches Aussehen. Gußeisen hat bei derselben magnetisierenden Kraft weit geringere Induktion als das schwedische Schmiedeeisen. Die Magnetisierungskurve des Flußeisens stimmt mit der des Schmiedeeisens fast überein.

In der nachfolgenden Tabelle sind die zusammengehörigen Werte von  $B$  und  $H$  für weiches Eisen angegeben, außerdem für jede Induktion die magnetische Permeabilität  $\mu = B/H$  (vergl. § 8).

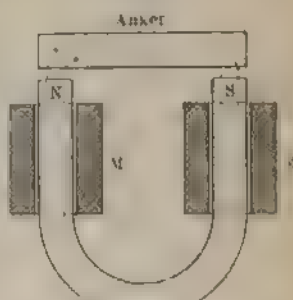
## Schwedisches Schmiedeeisen.

Induktion $B$	A. W. pro Centimeter Kraftlinienweg	Permeabilität $\mu$
1000	0,6	1860
2000	0,8	2500
3000	1	3000
6000	1,5	4000
10000	2,5	4000
12000	4	3000
15000	21	714
18000	48	333

Aus der Tabelle geht hervor, daß die Permeabilität für niedrige Grade der Magnetisierung groß ist und bis zur Induktion  $B = 10000$  im Schmiedeeisen zunimmt bis zu  $\mu = 4000$ . Von hier ab fällt der Werth von  $\mu$  mit wachsender Induktion beträchtlich, und zwar um so mehr, je weiter das Eisen dem Zustande der Sättigung entgegengelt. Für den gerade und steil ansteigenden Teil der Magnetisierungskurve genügen bereits sehr geringe Änderungen der Ampèrewindungen, um erhebliche Änderungen der Induktion, bezw. des Kraftlinienflusses im Eisen hervorzurufen.

§ 23. Der magnetische Kreis. Magnetomotorische Kraft und magnetischer Widerstand. Bei dem Magneten (Fig. 59) gehen die magnetischen Kraftlinien durch den Anker vom Nordpol zum Südpol über. Die Kraftlinien bilden dabei geschlossene Kurven. Die Gesamtheit der hervorgebrachten Kraftlinien nennen wir den magnetischen Kreis oder magnetischen Kraftlinienfluß des Magneten. Unter der Stärke des magnetischen Kreises verstehen wir die gesamte Zahl der Kraftlinien oder den ganzen Kraftlinienfluß, den der Querschnitt des Magneten oder des Ankers enthält. Die Ampèrewindungen der Erregerspulen erzeugen und erhalten die magnetischen Kraftlinien und ergeben daher die magnetomotorische Kraft (M.M.K.) des magnetischen Kreises.

Fig. 61.



Legt man, wie in Fig. 61, den Anker aus weichem Eisen mit geringem Abstände vor die Pole, so entsteht auch in den schmalen mit Luft erfüllten Spalten zwischen Anker und Polen ein magnetischer Kraftlinienfluß. In diesem Falle setzt sich der ganze magnetische Kreis aus drei Teilen zusammen: Magnet, Anker und Luftzwischenräume. Stellen wir die ersteren beiden aus weichem Eisen her, so setzen sie der Erzeugung des Kraftlinienflusses einen sehr viel kleineren

Widerstand entgegen als die Luftzwischenräume, da die magnetische Permeabilität der Luft sehr viel kleiner ist als die des Eisens (vergl. Tabelle § 22). Wenngleich die Dicke der Luftschicht zwischen Anker und Pol nur wenige Millimeter beträgt, so ist doch der Luftzwischenraum von sehr wesentlichem Einfluß auf die Stärke des magnetischen Kreises, wie bereits im § 21 hervorgehoben ist. Der gesamte Widerstand des magnetischen Kreises ergibt sich als die Summe von drei Teilen und zwar: Widerstand des Magneten, des Ankers und der Luftzwischenräume. Der magnetische Widerstand jedes dieser drei Teile ist 1. proportional der mittleren Länge  $L$  der Kraftlinien in demselben, 2. umgekehrt proportional dem Querschnitt  $Q$ , sowie der Permeabilität  $\mu$  (für Luft  $= 1$ ). Wir erhalten somit für den magnetischen Widerstand  $r$  eine Formel, welche der für den elektrischen Widerstand eines Leiters ähnlich ist (s. Gleichung 7)

$$(24) \quad r = \frac{L}{Q \cdot \mu}.$$

Für die Stärke des magnetischen Kreises gilt ein dem Ohm'schen Gesetze analoges.

Die Stärke des magnetischen Kreises ist um so größer, je größer die magnetomotorische Kraft oder die Ampèrewindungen der Magnetspulen sind und je kleiner der magnetische Widerstand des ganzen Kreises ist.

Ist in Fig. 58 das Innere der ringförmigen Spule mit einem Eisenkern, dessen Querschnitt  $Q$  sei, gefüllt, so ist bei der Induktion  $B$  die Stärke des magnetischen Kreises  $\Phi = B \cdot Q$ . Für  $B$  erhalten wir aus der Gleichung (22) einfach  $B = \mu \cdot H = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{n \cdot I}{L}$ . Demnach ergibt sich für die Stärke  $\Phi$  des magnetischen Kreises

$$\Phi = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{n \cdot \mu \cdot Q}{L} = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{n \cdot I}{\mu Q}.$$

$\frac{4\pi}{10} n I = 0,8 \pi n I$  stellt die magnetomotorische Kraft des magnetischen Kreises

dar, sie ist direkt durch die Ampèrewindungen gegeben,  $\frac{L}{\mu Q}$  ist der magnetische Widerstand des Kreises.

$$(25) \quad \text{Stärke des magnet. Kreises} = \frac{\text{Magnetomotor. Kraft (M.M.K.)}}{\text{Magnet. Widerstand des Kreises}}$$

Auch hier können wir das Gesetz, welches zunächst für den ganzen Schließungskreis ausgesprochen ist, auf Teile desselben anwenden. Der Teil der magnetomotorischen Kraft der Magnetspulen  $M.M.$ , welcher zur Erzeugung des Kraftlinienflusses im Anker gebraucht wird, ist gleich dem Produkte aus dem magnetischen Kraftlinienfluß  $\Phi_a$  im Anker und dem magnetischen Widerstande  $r_a$  des Ankers.

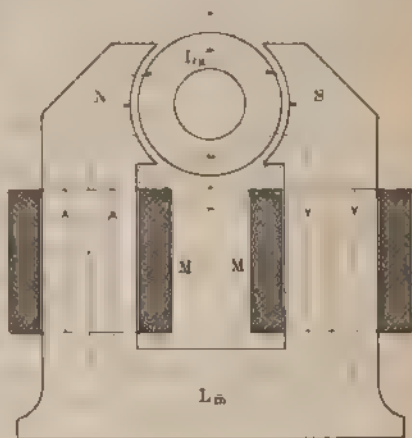
Für den Auker in Fig. 61 ist demnach die magnetomotorische Kraft erforderlich. Wird in derselben Weise für alle Teile des magnetischen Kreises die erforderliche M.M.K. für einen bestimmten Kraftlinienfluß berechnet, so ist die Summe derselben gleich der gesamten magnetomotorischen Kraft. Auf diesem Wege kann man mit einer für manche Fälle ausreichenden Genauigkeit die Amperewindungen der Magnetspulen für einen bestimmten Kraftlinienfluß ermitteln.

Beim elektrischen Strom stehen die in einem Schließungskreise verbrauchte E.M.K. —  $E$  und die Stromstärke  $i$  in dem konstanten Verhältnis  $E/i$ , welches den Widerstand des Schließungskreises darstellt. Dem magnetischen Kreise ist dagegen das entsprechende Verhältnis

Magnetomotorische Kraft von dem Sättigungsgrade des Eisens abhängig, nach dem magnet. Kreise

mit zunehmender Sättigung die Permeabilität nach § 22 sich ändert. Beim Vergleiche zwischen dem elektrischen Stromkreise und dem magnetischen Kreise ist auch hervorzuheben, daß die Unterhaltung des elektrischen Stromes in einem Widerstande einen Energieaufwand nach § 19 erfordert, während der einmal hergestellte magnetische Kreis weiter keinen Energieaufwand verlangt. Der magnetische Kreis ist also gewissermaßen ein statischer Zustand, während der elektrische Strom nach der uns gefälligen Vorstellung als ein dynamischer Vorgang aufzufassen ist. Die in den Erregerspulen eines Elektromagneten verbrauchte elektrische Energie wird nicht zur Magnetisierung verwendet, sondern nach Gl. (19) in Wärme verwandelt. Wir werden später sehen, dass beim Einschalten der Magnetspulen infolge der Selbstinduktion die Stromstärke scheinbar nicht sogleich ihren definitiven durch das Ohmsche Gesetz bestimmten Wert annimmt, sondern erst, nach freilich sehr kurzer Zeit, diesen Betrag erreicht. Während dieser Zeit ist die in Wärme verwandelte elektrische Energie geringer als während der Dauer der Magnetisierung, und der Fehlbetrag geht zur Herstellung des Zwangszustandes in der Lagerung der Moleküle, den wir als die Magnetisierung bezeichnen. In diesem Zustande ist demnach im Eisen eine große Menge Energie angesammelt, die wieder an den Stromkreis bei der Unterbrechung des Erregungsstromes zurückgegeben wird, wir erhalten beim Einschalten der Magnetspulen einen Induktionsstrom (vergl. § 30), der den Öffnungsfunk

Fig. 62.



er bringt, welcher um so heftiger ist, je größer die Zahl der Kraftlinien der Induktion ist, und je zahlreicher die Windungen der Magnetspulen sind.

Das Gesetz des magnetischen Kreises ist besonders wichtig in seiner Anwendung auf die Berechnung der Magnetgestelle (Fig. 62) der elektrischen Maschinen. Wir setzen einen Magneten von hufeisenförmiger Gestalt voraus, der einen Polschuh trägt und beide Schenkel sind durch die

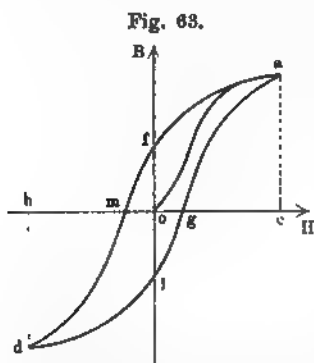
Grundplatte miteinander verbunden. In dem cylindrischen Raume, den die Polschuhe begrenzen, befindet sich der Anker, welcher aus Eisen besteht und meist die Gestalt eines Hohlzylinders hat. Zwischen Anker und Polschuh ist ein schmaler Luftzwischenraum vorhanden, der teilweise noch mit der Ankerwicklung ausgefüllt wird, so daß der Anker sich eben frei drehen kann. Die Kraftlinien gehen vom Nordpol durch die obere und untere Hälfte des Ankers zum Südpol über und kehren von hier durch die Kerne und die Grundplatte zum Nordpol zurück. Wir erhalten also ein System geschlossener Kraftlinien, das als der magnetische Kreis der Maschine bezeichnet wird.

Die Zahl der magnetischen Kraftlinien im Luftzwischenraum und im Anker ist aber um so grösser, je grösser die  $M.M.K.$  der Magnetspulen  $M$  und je kleiner der magnetische Widerstand des ganzen Kreises ist.

Dabei sei hier gleich darauf hingewiesen, daß nur ein Teil der Kraftlinien vom Nordpol durch den Anker zum Südpol übergeht, während ein anderer Teil durch die Luft außerhalb des Ankers sich schließt. Damit entsteht zwischen den Polflächen ein magnetischer Nebenschluß zum Anker; wir erhalten außerhalb des Ankers ein magnetisches Streufeld. Die Stärke des Streufeldes ist von der Gestalt und den Dimensionen des Magneten abhängig und für verschiedene Magnetformen näherungsweise festzustellen.

Für jeden der drei Teile des magnetischen Kreises: Magnetgestell, Luftzwischenraum, Anker, kann man nach dem Vorhergehenden die erforderliche  $M.M.K.$  als das Produkt aus der Stärke des magnetischen Kreises in diesem Teile und dem magnetischen Widerstande desselben berechnen. Addiert man die drei für jeden Teil erforderlichen magnetomotorischen Kräfte, so ergibt sich die gesamte  $M.M.K.$ , aus welcher direkt die erforderlichen Ampèrewindungen der Magnetspulen zu ermitteln sind. Damit ist der Weg angedeutet, auf welchem mit ziemlicher Annäherung die Magnetspulen bei gegebenem Magnetgestell und gegebener Zahl der Kraftlinien im Luftzwischenraum zu berechnen ist. Letzterer ist die in der Dynamo induzierte  $E.M.K.$  direkt proportional [vergl. Gl. (29)].

§ 24. Magnetische Hysteresis. Magnetisierungsarbeit. Rotiert der cylindrische Anker (Fig. 62) im Magnetfelde zwischen den



Polen, so werden die beiden Hälften desselben abwechselnd nord- und süd magnetisch. Dabei ist zur fortwährenden Umlagerung der Molekularmagnete ein Energieaufwand erforderlich, den wir als die Magnetisierungsarbeit bezeichnen.

Läßt man durch die Magnetspule (Fig. 56) einen Strom fließen, dessen Stärke von Null anfangend, allmählich zum Betrage  $i$  ansteigt, so daß die magnetisierende Kraft  $H$  durch die Strecke  $oc$  (Fig. 63) dargestellt wird, so wird die Induktion im Eisenstabe nach der Magnetisierungskurve  $B = ac$ . Sinkt dann die Stromstärke  $i$  wieder auf Null, so nimmt

der Kraftfluß im Eisenstabe nicht nach den Ordinaten der Kurve  $ao$  ab, sondern vielmehr nach der Kurve  $af$ , und wenn der magnetisierende Strom gleich Null geworden ist, enthält der Eisenstab noch die magnetische Induktion  $of$ . Fließt dann ein von Null bis zur Stärke  $i$  allmählich anwachsender

Strom in entgegengesetzter Richtung wie vorher durch die Magnetisierungs-  
spule, so bewegt sich die Induktion auf dem Wege  $jd$ . Hat der Strom  
schließlich dieselbe Stärke erreicht wie in der entgegengesetzten Richtung,  
so ist auch die Induktion  $hd = ac$ . Sinkt jetzt wiederum der Strom auf  
Null und geht er in die ursprüngliche Richtung  $ba$  zur Stärke  $a$  über,  
so schreitet der Zustand der Magnetisierung auf dem Wege  $dg$  nach  $a$  fort.  
Damit ist ein cyklischer Magnetisierungsprozeß des Eisens vollendet.

Nachdem die Stromstärke und damit auch die magnetisierende Kraft  
auf Null gesunken ist, bleibt ein Rückstand an Induktion, der durch  $of = ol$   
dargestellt ist.  $of = ol$  gibt ein Maß für den remanenten Magnetismus.  
Erst nachdem die magnetisierende Kraft ihre Richtung gewechselt hat und  
den Betrag  $og = om$  angenommen hat, wird die Induktion im Eisen gleich  
Null. Die Strecken  $og$  und  $om$  stellen die Zähigkeit oder die Koerzitiv-  
kraft dar.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß das Eisen der Änderung seines  
magnetischen Zustandes einen Widerstand entgegensetzt. Die Änderungen  
des Magnetismus bzw. der Induktion bleiben gegen die Änderungen der  
magnetisierenden Kraft zurück, es zeigt das Eisen eine Art von magnetischem  
Beharrungsvermögen, welches von Ewing als magnetische Hysterese  
bezeichnet ist. Dennoch ist die magnetische Induktion eines Eisenstabes  
nicht nur von der augenblicklich auf den Stab wirkenden magnetisierenden  
Kraft abhängig, sondern auch von den magnetischen Zuständen, in welchen  
der Stab sich vorher befunden hat.

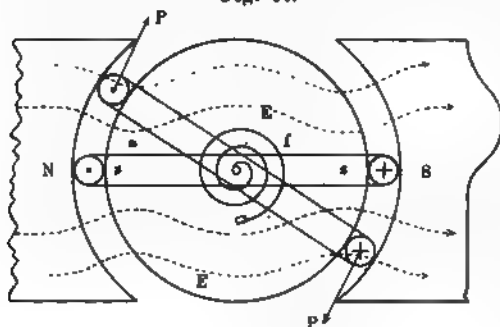
Um die cyklische Magnetisierung  $afmdlga$  auszuführen, ist ein Energie-  
aufwand erforderlich, dessen Betrag der Fläche der Kurve  $afmdlga$  pro-  
portional ist. Die Fläche stellt die bei jeder cyklischen Magnetisierung ver-  
brauchte Arbeit dar, welche in Wärme umgesetzt wird. Bei ausgeglühtem  
weichem Eisendraht rücken die Kurven  $ald$  und  $afd$  sehr nahe zusammen  
und der Energieaufwand für die cyklische Magnetisierung ist sehr gering.  
Bei Gußeisen und noch mehr beim Stahl liegen die genannten Kurvenstrecken  
weiter auseinander, und daher ist der Energieaufwand für die cyklische  
Magnetisierung, die z. B. während der vollen Periode eines Wechselstromes  
ausgeführt wird, erheblich größer als beim weichen Eisen.

### Elektromagnetische Strom- und Spannungsmesser.

§ 26. Weston-Strommesser. Milli-Volt- und Ampèremeter  
von Siemens und Halske. Spannungsmessung. Bei diesen  
Instrumenten ist in einem starken Magnetfelde eine Spule drehbar.  
In Fig. 64 stellt  $E$  einen festen, cylindrischen Kern aus weichem  
Eisen dar, um welchen die Spule  $s$  sich eben frei drehen kann. Die  
Spule ist meist mit Stahlspitzen in Steinen gelagert. Der Einfachheit  
wegen ist die Spule  $s$  nur mit einer Windung gezeichnet. An beiden  
Enden der Spule sind Spiralfedern  $f$  angebracht, die zur Strom-  
zuführung dienen und die stromlose Spule in einer bestimmten Null-  
lage halten. Sobald ein Strom durch die Spule fließt, wird auf die  
letzte ein Drehungsmoment ausgeübt, das die Windungsebene der  
Spule zur Verbindungslinie der Pole senkrecht zu stellen sucht. Im  
Luftzwischenraum zwischen dem Eisenkern  $E$  und den Polen verlaufen  
die Kraftlinien radial und gleichmäßig verteilt, und auf die in  
den beiden Luftzwischenräumen liegenden Seiten der Spule wird nach

§ 19 eine Kraft  $P$  ausübt, welche der Stromstärke in der Spule, der Windungszahl derselben und der Feldstärke proportional ist. Die

Fig. 64.



vom Strome durchflossene und aus der Nulllage abgelenkte Spule ist im Gleichgewicht, wenn das Drehungsmoment der Kraft  $P$  gleich dem von den Federn ausgeübten Gegenmoment ist, welches im gleichen Verhältnis mit der Ablenkung  $\alpha$  der Spule aus der Nulllage wächst. Da bei kon-

stanter Feldstärke im Luftzwischenraum  $P$  allein von der Stromstärke abhängt, so wächst die Ablenkung der Spule gleichmäßig mit der Stromstärke<sup>1)</sup>. Die Empfindlichkeit ist unter sonst gleichen Verhältnissen der Feldstärke proportional.

Die Spule ist auf einen Rahmen aus Metall (Aluminium) gewickelt; durch die in diesem Rahmen bei der Bewegung desselben induzierten Ströme (vergl. § 81) wird eine vorzügliche Dämpfung erreicht.

Fig. 65 stellt die Einrichtung bei den Instrumenten der European Weston Electrical Instrument Co. dar. Die Spule ist um einen festen Eisenkern in dem cylindrischen Raum zwischen den beiden Polschuhen eines kräftigen Dauermagneten drehbar. Mit der Spule ist ein Zeiger verbunden, welcher die Ablenkung der Spule aus der Nulllage angibt.

Als besondere Vorzüge der Weston-Instrumente sind hervorzuheben:

1. Man erhält direkt die Ablesung in Ampère ohne Umrechnungen oder Korrekturen.

<sup>1)</sup> Ist  $\alpha$  die Ablenkung der Spule aus der Nulllage, so ist das von der Spiralfeder ausgeübte Gegenmoment  $= k\alpha$ , wo  $k$  eine Konstante bedeutet. Ist  $H$  die konstante Feldstärke im Luftzwischenraum,  $z$  die Zahl der Windungen der Spule und  $i$  die Stromstärke in derselben, so wird nach § 19 vom Magnetfelde auf die Stromspule das Drehungsmoment

$$k_1 i z H$$

ausgeübt. Für den Fall des Gleichgewichtes ist

$$k_1 i z H = k \alpha,$$

also

$$i = \frac{k}{k_1 z H} \alpha.$$

Da  $\frac{k}{k_1 z H}$  selbst konstant ist, so ist die Stromstärke der Ablenkung  $\alpha$  proportional. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Kraftlinien im Luftzwischenraum in der Richtung des Radius des cylindrischen Kernes verlaufen, was bei engem und passend gewähltem Luftzwischenraum auch der Fall ist.



2. Alle Skalen beginnen bei Null und erstrecken sich in fast vollständig gleichmäßigen Intervallen bis zum letzten Teilstrich.

3. Die Instrumente sind infolge der vorzüglichen Dämpfung außerordentlich aperiodisch, indem der Zeiger sich fast momentan einstellt und die Ablesung ohne Zeitverlust erfolgen kann.

4. Das Instrument steht nicht unter dem Einfluß des remanenten Magnetismus, so daß verschiedene Ablenkungen für denselben Strom bei auf-

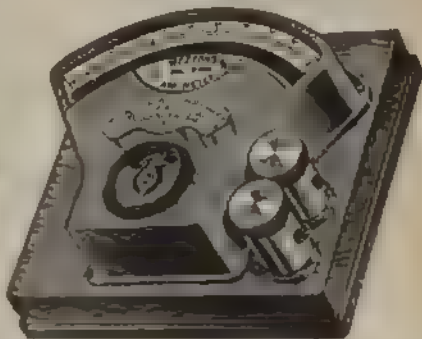
Fig. 65.



steigender und bei abfallender Stromstärke unmöglich sind, weil die beweglichen Teile des Instrumentes kein Eisen enthalten.

5. Das bewegliche System ist genau ausbalanciert, so daß die Instrumente in jeder Lage, sowohl vertikal als horizontal, benutzt werden können. Eine besondere Einstellung ist nicht erforderlich. Auch selbst in der Nähe der Maschinen oder kräftiger Ströme zeigen diese Instrumente noch richtig an.

Fig. 66.



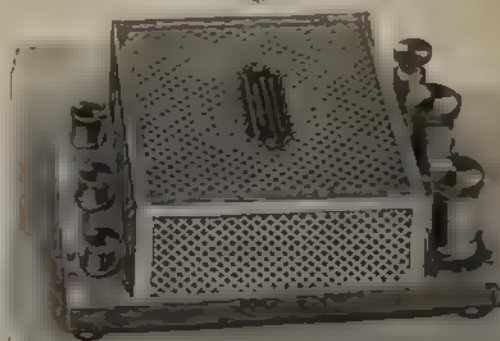
Die Weston-Instrumente (Fig. 66) sind zunächst wegen des feinen Drahtes auf der beweglichen Spule nur zum Messen schwacher Ströme geeignet. Zur Messung stärkerer Ströme erhalten die Instrumente passende Nebenschlüsse, die entweder fest im Gehäuse des Instrumentes untergebracht sind, oder für verschiedene Meßbereiche in einem besonderen Kasten dem Instrumente beigegeben



werden. Fig. 67 zeigt einen solchen Nebenschlußkasten für die Meßbereiche 0—15 und 0—150 Amp

Fig. 68 zeigt die Verbindung des Instrumentes mit seinem Nebenschluß  $N$ . Ist  $G$  der Widerstand des Instrumentes zwischen den F.

Fig. 67.



klemmen desselben und  $N$  der Widerstand des Nebenschlusses, so zerlegt sich der zu messende Strom  $J$  in die Zweigströme  $i$  und  $i_n$ . Wir haben nach § 16

$$i : i_n = N : G, \quad J = i + i_n.$$

Der Strom  $i$  wird im Instrumente abgelesen:

$$(26) \quad J = i + \frac{i \cdot G}{N} = i \frac{N + G}{N}.$$

$N$  und  $G$  müssen durchaus konstant sein und sind aus einem nicht von der Temperatur abhängigen Leitungsmaterial hergestellt.

Fig. 68.

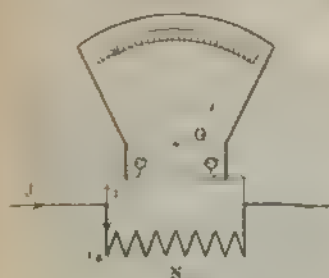


Fig. 69.



Ist der Nebenschluß fest mit dem Instrumente verbunden, so kann das letztere direkt die Gesamtstromstärke  $J$  anzeigen.

Die von Siemens und Halske hergestellten Präzisions-Millivolt- und Ampèremeter für Gleichstrom (Fig. 69) sind im Prinzip wie die Weston-Instrumente eingerichtet.

Der Widerstand zwischen den Polklemmen des Instrumentes (Fig. 69) beträgt entweder 1  $\Omega$  oder 100  $\Omega$ . Die genaue Abgleichung geschieht meistens durch eine im Instrumente angebrachte Nebenleitung (vergl. Gleichung (16)) der Spule.

Die Instrumente mit 1  $\Omega$  Widerstand haben eine gleichmäßige Skala mit 150 Teilstrichen. Unter dem sichtbaren Teile des Aluminiumzeigers befindet sich ein Spiegelglasstreifen, so daß man zum korrekten Ablesen den Zeiger mit seinem Spiegelbilde zur Deckung bringt. Je ein Skalenteil Ablesung der Spule entspricht der Stromstärke 0,001 Ampere. Direkt mit dem Instrumente kann man also nur Ströme bis 0,15 Amp. messen.

Dem Instrumente werden zur Erweiterung des Meßbereiches (nach Fig. 68) die Nebenschlüsse  $\frac{1}{90}$ ,  $\frac{1}{40}$ ,  $\frac{1}{20}$ ,  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{5}$  und  $\frac{1}{2}$   $\Omega$  und kleinere bis  $\frac{1}{100000}$   $\Omega$  gegeben, deren Form in Fig. 70 dargestellt ist.

Stellt sich der Zeiger des Instrumentes bei einer Strommessung auf 128 und ist der Nebenschluss  $\frac{1}{100}$  gebraucht, so ist (Fig. 68)  $i = 0,128$  Amp., oder ist  $i_n = 499 \cdot 0,128$  Amp., also  $J = 500 \cdot 0,128 = 64$  Amp.

Spannungsmessungen werden indirekt nach dem Ohm'schen Gesetze ausgeführt. In Fig. 72 (a. f. S.) stellt  $M$  eine Dynamo dar, welche

Fig. 70.

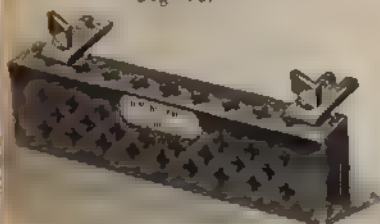


Fig. 71.



den elektrischen Strom für die zwischen den Lampen  $L_+$  und  $L_-$  eingeschalteten Lampen liefert. Um die Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen bzw. den Lampen  $L_+$  und  $L_-$  zu ermitteln, legen wir einen Nebenschluss zu den Lampen den Strommesser (Milli-Ampèremeter)  $S$  und einen Widerstand  $w$ . Letzterer kann fortbleiben, wenn  $S$  einen genügend hohen Widerstand hat. Die Stromstärke in  $S$  ist der Spannung  $E$  zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  proportional. Ist  $W$  der Widerstand von  $S$  und  $w$  zusammen, so fließt durch  $S$  der Strom  $i = E \cdot W$ . Da  $W$  konstant ist, so ändert sich also  $i$  proportional zu  $E$ . Die Spannung  $E$  wird gefunden, indem wir die in  $S$  abgelesene Stromstärke  $i$  mit  $W$  multiplizieren. Um die Rechnung zu vereinfachen, zeigt der Strommesser  $S$  in vielen praktischen Fällen überhaupt nicht die Stromstärke  $i$  an, sondern gleich das Produkt  $iW$ , d. h. die Spannung  $E$ . Solche für Spannungsmessungen verwendeten Strommesser heißen Voltmeter. Um bei der Spannungsmessung möglichst geringe Stromstärken und wenig Energie zu verbrauchen,

erhalten die Voltmeter einen hohen elektrischen Widerstand, wenn sie selbst diesen hohen Widerstand nicht haben, wird ihnen ein solcher in Form einer bifilar gewickelten Spule (vergl. Fig. 35) vorgeschaltet.

Soll das Milli-Volt- und Ampèremeter mit  $1 \Omega$  Eigenwiderstand zur Spannungsmessung verwendet werden, so werden ihm, je nach der Höl-

Fig. 72.

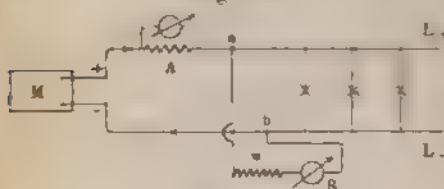
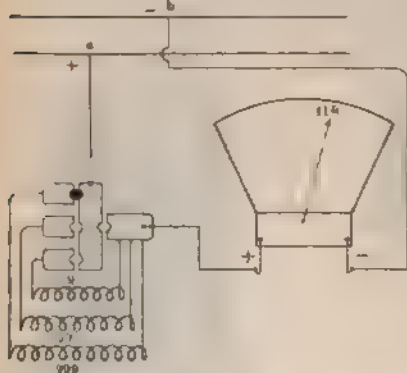


Fig. 73.



der zu messenden Spannung, die Widerstände 999, 999 oder 9999 vorgeschaltet. Die Vorschaltwiderstände sind meist in einer Box (Fig. 71) untergebracht. Durch Einsetzen eines Stöpsels wird das Vorschalten des Widerstandes ausgeführt. Ist die zu messende Spannung der Größe nach nicht bekannt, so schaltet man zunächst den größten Widerstand vor. Zeigt das Instrument mit  $1 \Omega$  Eigenwiderstand bei einer Spannungsmessung (Fig. 73) 118, während der Widerstand 999  $\Omega$  vorgeschaltet ist, so fließt durch Instrument und Vorschaltwiderstand, deren Widerstand zusammen  $1000 \Omega$  beträgt, der Strom  $118,5 : 0,001 = 0,1183$  Amp. Die Spannung zwischen + und - oder a und b ist also  $1000 \cdot 0,1185 = 118,3$  Volt.

Nach demselben Prinzip wie die Weston-Instrumente sind auch die direkt anzeigenden aperiodischen Präzisions-Ampèremeter und

-Voltmeter für Gleichstrom (Fig. 74a und b) in Dosenform für Schaltbretter eingerichtet.

Fig. 74a zeigt ein von der Firma Hartmann und Braun hergestelltes Voltmeter und Fig. 74b ein Ampèremeter. Bei den Ampèremetern bis 100 Amp. ist der Abzweigwiderstand im Gehäuse, für höhere Stromstärke werden die Nebenschlüsse mit Verbindungsdrähten separat geliefert. Die für Schaltbretter verwendeten Ampèremeter erhalten einen festen Nebenschluss und das Ampèremeter zeigt direkt die Gesamtstromstärke an.

In den Spannungsmessern ist ein großer induktionsfreier Widerstand der beweglichen Spule vorgeschaltet. Am Spannungsmesser ist nach dem Vorhergehenden nicht die Stromstärke in der beweglichen Spule abzulesen, sondern das Produkt aus der Stromstärke und dem konstanten Widerstande von Vorschaltwiderstand und Spule, d. h. die Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen des Spannungsmessers bzw. zwischen den Punkten, mit denen die Klemmen des Spannungsmessers durch möglichst widerstandslose Drähte verbunden sind.

Fig. 73 (a. f. S.) zeigt die Form eines von Hartmann u. Braun neuer-  
 ange konstruirten Amperemeters, das für Fahrzeuge, Schiffe u. s. w. ver-

Fig. 74a.



Fig. 74b.



wendet wird, an Stelle der bisher üblichen mit kardunischer Aufhängung. In derselben Form werden auch die Voltmeter hergestellt. Die Instrumente

Fig. 75.

Fig. 76.



1.4

lassen sich in einer vollkommen wasserdichten Hülle. Bei dem in Fig. 75 dargestellten Amperemeter ist der Nebenschluss sichtbar.

### § 26. Strom- und Spannungsmesser mit weichem Eisen (Weicheiseninstrumente).

Bei diesen Instrumenten fließt der Strom durch eine Drahtspule, welche ein weiches Eisenstück zunächst magnetisiert und dann drehend oder ziehend auf dasselbe wirkt. Von diesen Instrumenten ist bereits auf S. 17 die Rede gewesen. Fig. 76 stellt eine Anordnung dieser Instrumente dar, bei welchen die vertikale Spule *W* den an der torsionsfreien Spiralfeder *S* aufgezogenen Hohlzylinder *r* aus Eisenblech je nach der Stromstärke mehr oder weniger tief in sich hineinzieht. Der Stab *t* dient zur Führung des gezogenen Eisenrohres.



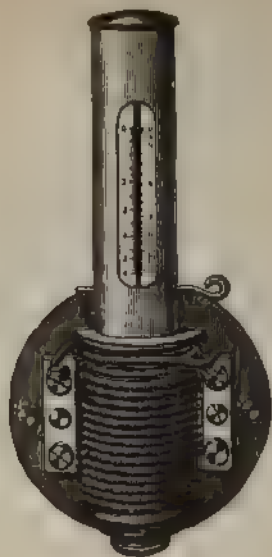
Dieses Prinzip kommt zur Anwendung bei dem Federampere von Kohlrausch, das in den in Fig. 77 und 78 dargestellten Formen von Hartmann und Braun geliefert wird. Je nach dem Messungsbereich steht die Spule aus mehr oder weniger Windungen, da die Zugkraft mit

Windungszahl wächst. Für sehr starke Ströme erhält das Amperemeter nur aus Kupferrohr ausgesägte Spirale mit wenigen Windungen. Nach dem-

Fig. 77.



Fig. 78.



den Principe werden auch Voltmeter gebaut, bei welchen die Spulen aus vielen Windungen feinen Neusilber- oder Nickelindrahthes hergestellt werden, so daß der Widerstand des Instrumentes groß ist. Voltmeter für Spannungen bis 110 Volt haben meist einen Wider-

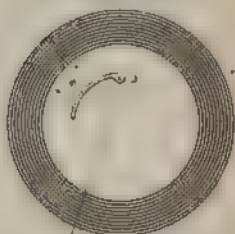
Fig. 79.



stand von 1000 bis 2000  $\Omega$ .

Das Amperemeter (Fig. 79) von Hartmann und Brann beruht auch auf der Einziehung eines Eisen-

Fig. 80.





kerns in ein Solenoid, jedoch mit einer auf Torsion beanspruchten Feder als Gegenkraft. Vermittels eines Hebels und einer in Steinen gelagerten Achse wird die geradlinige Bewegung in eine drehende verwandelt. Während im allgemeinen bei den Weicheiseninstrumenten nicht eine Skala mit gleichmäßigen Intervallen vorhanden ist, ist dieses durch eine besondere patentierte Form des Eisenkernes bei dem in Fig. 79 dargestellten Instrumente erreicht.

Die Ampéremeter haben kleinen Widerstand, und somit wird auch bei der höchsten Stromstärke nur eine geringe Spannung und Energie in ihnen verbraucht.

Bei anderen Strom- und Spannungsmessern, die hauptsächlich in Dampfform für Schaltbretter Anwendung finden, ist um ein der Spulenachse parallel stehendes Stabchen  $a$  (Fig. 80, a. v. S.) ein leicht gebogenes Stück  $e$  aus weichem Eisenblech drehbar. Das Stabchen ist sorgfältig und mit sehr geringer Reibung gelagert und trägt am vorderen Ende den Zeiger  $z$ , der auf der Skala spielt. Das gebogene Eisenblech wird durch den in der Spule fließenden Strom zunächst magnetisiert und dann in der Richtung der Pfeile gegen den inneren Rand der Spule, wo die Kraftlinien dichte am größten ist, gezogen, und zwar um so stärker, je größer die Stromstärke ist.

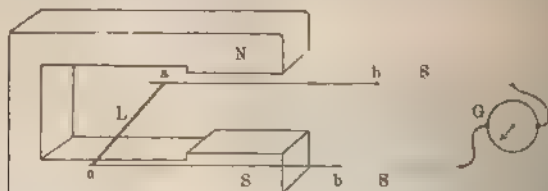
Alle Weicheiseninstrumente haben den Nachteil, daß wegen der geringen Dämpfung die Ablesungen zeitraubend sind. Nur bei sehr sorgfältiger Auswahl und Konstruktion des beweglichen Eisenkörpers kann der Einfluß des remanenten Magnetismus in genügender Weise beseitigt werden.

## Viertes Kapitel.

### Induktion.

§ 27. Grundgesetze. Richtung der induzierten E.M.F.  $M$  (Fig. 81) sei ein Hufeisenmagnet mit den Polen  $N$  und  $S$ . Ein Leiter  $L$ , ein gerader Kupferstab, ist auf zwei Schienen  $SS$  aus Kupferstäben stets seiner Anfangslage parallel bleibend verschiebbar. Die

Fig. 81



Schienen sind mit einem Galvanoskop  $G$  verbunden. Bewegt man den Leiter  $L$  schnell von  $a$  nach  $b$  senkrecht zur Richtung der Kraftlinien zwischen den Polen durch, so schlägt die Nadel des Galvanoskops aus. Wir schließen daraus, daß durch die Bewegung des Leiters in dem

Schließungskreise  $LSGS$  ein elektrischer Strom hervorgebracht wird. Der elektrische Strom ist aber die Folge einer im Stromkreise auftretenden E.M.K. Ruht der Leiter  $L$  in  $bb$ , so verschwindet der Strom im Schließungskreise. Überhaupt tritt nur so lange ein Strom auf, wie der Leiter  $L$  die magnetischen Kraftlinien schneidet. Wird der Leiter  $L$  von  $bb$  nach  $aa$  zurückbewegt, so zeigt die Ablenkung der Nadel des Galvanoskops, daß ein Strom von entgegengesetzter Richtung wie vorher entsteht.

Die bei diesen Versuchen im Schließungskreise auftretenden Ströme bezeichnen wir als Induktionsströme. Schneidet der Leiter  $L$  magnetische Kraftlinien oder wird durch die Bewegung des Leiters die Zahl der magnetischen Kraftlinien, welche den Schließungskreis  $LSGS$  durchsetzen, verändert, so wird im Schließungskreise eine E.M.K. induziert. Ist das Gleitstück  $L$  in  $aa$ , so umfaßt der Schließungskreis die größte Zahl von Kraftlinien: liegt er aber in  $bb$ , so umschließt er eine sehr viel geringere Zahl.

Bei der Bewegung des Gleitstückes  $L$  wird der Widerstand des Schließungskreises nicht geändert, da das Leitungsvermögen der Kupferschienen  $SS$  sehr groß ist.

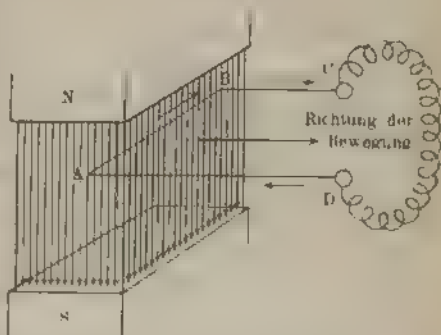
Für die Richtung der induzierten E.M.K. oder des Stromes ist nur von Bedeutung, in welcher Richtung das Gleitstück  $L$  die Kraftlinien schneidet, oder ob die Zahl der vom Schließungskreis umfaßten Kraftlinien zu- oder abnimmt.

Zur Bestimmung der Richtung der induzierten E.M.K. beziehen wir uns zunächst nur auf das Gleitstück  $L$  und geben folgende Regel I: Denken wir uns an der Stelle, wo sich  $L$  gerade befindet, in der Richtung der Kraftlinien schwimmend, so daß die Kraftlinien bei den Füßen ein- und beim Kopfe austreten, und wenden wir das Gesicht nach der Richtung, in welcher das Gleitstück  $L$  sich bewegt, so ist die induzierte E.M.K. nach rechts gerichtet.

Fig. 82.

In Fig. 82 stellt  $ABCD$  einen Schließungskreis dar. Wird der ganze Schließungskreis in der angegebenen Richtung bewegt, so schneidet  $AB$  magnetische Kraftlinien, und in  $AB$  wird eine E.M.K.

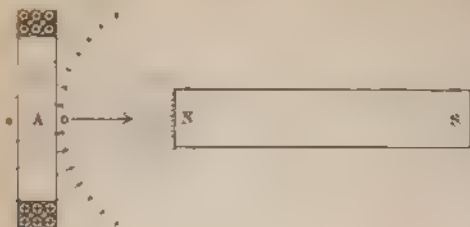
induziert, die in der Richtung von  $A$  nach  $B$  wirkt. In Fig. 81 wird durch die Bewegung des Gleitstückes von  $aa$  nach  $bb$  erreicht, daß





die Zahl der Kraftlinien, welche den Schließungskreis durchsetzen, geringer wird; in Fig. 82 erreichen wir dasselbe durch Bewegung des ganzen Schließungskreises. Von Bedeutung für die Entstehung der E. M. K. ist nur, daß die Zahl der vom Schließungskreise umschlossenen

Fig. 83.



Kraftlinien geändert wird. Eine E. M. K. würde auch induziert, wenn der Schließungskreis fest läge, dessen Umfang beibehielt und der Magnet an seinen Kraftlinien bewegt würde.

Zur Bestimmung der Richtung der E. M. K.

dient auch folgende Regel II: Blickt man vom Nordpol aus durch den Schließungskreis in der Richtung der Kraftlinien und wird bei der Bewegung des Schließungskreises bzw. des Magneten die Zahl der Kraftlinien, die der Schließungskreis umfaßt, kleiner, so fließt für den Beschauer der Strom im Sinne der Uhrzeigerbewegung durch den geschlossenen Kreis; nimmt dagegen die Zahl der Kraftlinien zu, so fließt der Strom gegen die Uhrzeigerbewegung.

Wird die Spule A, welche einem geschlossenen Stromkreise als Teil angehört, also in der Richtung des Pfeiles gegen den Nordpol bewegt (Fig. 83), so nimmt die Zahl der Kraftlinien, welche die Windungen umfassen, zu, ein vom Nordpol aus gegen die Spule Blickender sieht also bei der betrachteten Bewegung den induzierten Strom entgegen der Richtung des Uhrzeigers fließen.

Der in der Spule (Fig. 83) induzierte Strom hat solche Richtung, daß er die Bewegung, durch welche er zustande gekommen ist, zu hindern sucht (Gesetz von Lenz).

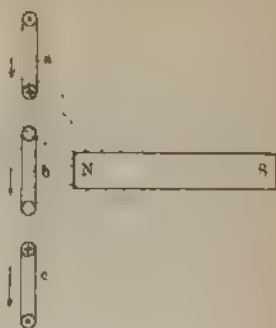
In Fig. 83 fließt der induzierte Strom in der Spule so, daß die Spule an der dem N. Pol zugekehrten Endfläche ihren Nordpol (vergl. § 20) bekommt. Gleichnamige Pole stoßen sich aber ab. Wird in Fig. 83 die Spule A in einer dem Pfeile entgegengesetzten Richtung bewegt, so hat der Strom in der auch die entgegengesetzte Richtung wie vorher.

Wir betrachten in Fig. 84 eine Spule, die der Einfachheit wegen nur mit einer Windung dargestellt ist und aus der Lage a über b nach c am Nordpol eines Magneten vorbeigeführt wird. In der Stellung b ist die Zahl der Kraftlinien, welche die Windungsfläche der Spule durchsetzen, am größten. Bewegt sich die Spule von a nach b, so nimmt die Zahl der von der Windung umschlossenen Kraftlinien zu, dagegen bei der Bewegung von b nach c ab. Während der Bewegung von a nach b fließt der induzierte Strom entgegengesetzt wie während der Bewegung von b nach c; in der selbst kehrt die induzierte E. M. K. ihre Richtung um und ist für einen Augenblick  $\neq 0$ .

In den durch die Fig. 83 und 84 dargestellten Fällen ist die induzierte E. M. K. und damit der Induktionsstrom (Stromfluss) um so stärker, 1. je stärker das Feld des Magneten ist, 2. je schneller die Spule bewegt wird, 3. je größer die Windungszahl der Spule ist.

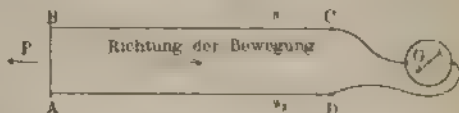
Noch sei hervorgehoben, daß die induzierte E. M. K. gleich Null ist, wenn in Fig. 83 und 84 Spule und Magnetpol ihre relative Lage zu einander nicht ändern.

Fig. 84.



§ 28. Gesetz von Faraday. Absolute Einheit der E. M. K. Auf den parallelen Schienen  $s_1$  und  $s_2$  (Fig. 85) sei das Gleitstück  $AB$  verschiebbar. Die Kraftlinien seien senkrecht zu der durch  $s_1$  und  $s_2$  gelegten Ebene und pro Quadratcentimeter der Fläche  $ABCD$  seien  $H$  Kraftlinien vorhanden, d. h. die Feldstärke zwischen den Schienen ist  $H$ . Der Nordpol liege vor der Ebene des Bleches, der Südpol hinter derselben, so daß die Kraftlinien vom Leser aus senkrecht gegen die Ebene des Bleches gerichtet sind. Wird das Gleitstück  $AB$ , seiner Anfangslage parallel bleibend, mit der konstanten Geschwindigkeit  $v$  bewegt, so wird im Gleitstück eine konstante E. M. K. während der Bewegung induziert, und damit entsteht im Schließungskreis ein konstanter Induktionsstrom. Wird  $AB$  nach rechts in der Richtung des Pfeiles bewegt, so fließt der Induktionsstrom nach der Regel I. § 27 in der Richtung  $ABCGDA$ . Das magnetische Feld übt auf den vom Induktionsstrom durchflossenen Leiter  $AB$  eine Kraft  $P$  aus, die die Bewegung aufzuhalten sucht (Gesetz von Lenz). Nach § 19 haben wir

Fig. 85.



$$P = H \cdot J \cdot l \text{ Dyn.}$$

wo  $l$  — Länge des Gleitstückes  $AB$  in Centimeter,  $J$  die Stromstärke in absoluten Einheiten (vergl. § 19) und  $P$  der Widerstand ist, welcher der Bewegung des Gleitstückes von  $AB$  nach  $CD$  entgegenzusetzen wird.

Zur Bewegung des Gleitstückes ist also die mechanische Energie

$$P \cdot e = H \cdot J \cdot l \cdot v$$

benötigt. Diese mechanische Energie wird infolge der Bewegung

des Leiters  $l$  in dem magnetischen Felde in elektrische Energie verwandelt. Ist  $e$  die im Gleitstück induzierte E.M.K., so erhalten wir nach dem Principe der Erhaltung der Energie

$$e \cdot J = H \cdot J \cdot l \cdot v,$$

also

$$(27) \quad e = H \cdot l \cdot v,$$

d. h. die induzierte E.M.K. ist proportional der Stärke  $H$  des magnetischen Feldes, ferner der Länge  $l$  und der Geschwindigkeit  $v$  des Gleitstückes.

$lv$  ist die Fläche, welche das Gleitstück pro Sekunde durchstreicht, und  $Hlv$  ist die Zahl der Kraftlinien, welche unter den betrachteten Verhältnissen pro Sekunde vom Gleitstück geschnitten werden. Wir erhalten daher den Satz: Die induzierte E.M.K. ist durch die Zahl der Kraftlinien gegeben, welche pro Sekunde von dem Gleitstück  $AB$  geschnitten werden, bzw. um welche pro Sekunde die Zahl der vom Schließungskreis  $ABCGDA$  umschlossenen Kraftlinien vermehrt oder vermindert wird.

Wir erhalten  $e$  in absoluten Einheiten der E.M.K., wenn  $l$  in cm und die Geschwindigkeit in  $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$  eingesetzt wird. Die absolute Einheit der Geschwindigkeit hat derjenige Körper, welcher in der Sekunde den Weg 1 cm zurücklegt. Ist in der Gleichung (27)  $l = 1$ ,  $H = 1$  und  $v = 1$ , so wird auch  $e =$  der Einheit der elektromotorischen Kraft, d. h. der E.M.K., welche in einem Leiter von 1 cm Länge induziert wird, der senkrecht zur Feldrichtung liegt und mit der Geschwindigkeit  $1 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$  senkrecht zur Richtung des magnetischen Feldes bewegt wird, in welchem die Feldstärke  $= 1$  Dyn ist, in welchem also pro Quadratzentimeter eine Kraftlinie vorhanden ist.

Als praktische Einheit der E.M.K. benutzen wir das Volt, welches das  $10^8$ fache der absoluten Einheit der E.M.K. ist. Wir erhalten also für die Gleichung (27)

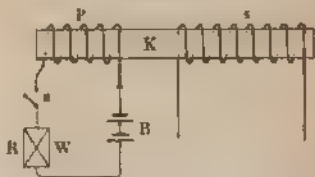
$$(28) \quad e = H \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Volt},$$

dabei ist  $l$  in cm und  $v$  in  $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$  einzusetzen.

§ 29. Fortsetzung der Induktionsversuche. Über einen Eisenkern  $K$  (Fig. 86) — am besten ein Bündel weicher Eisendrähte — ist eine Spule  $p$  aus isoliertem Kupferdraht geschoben, die mit dem Ausschalter  $a$  und dem regulierbaren Widerstand  $RW$  im Schließungskreis der Stromquelle  $B$  liegt. Auf das andere Ende des Eisenkernes ist eine Spule  $s$  gebracht, deren Enden zum Nachweis der Induktionsströme mit den Klemmen eines in der Entfernung von einigen Metern aufgestellten Galvanoskops verbunden sind.  $p$  ist die primäre oder induzierende Spule,  $s$  ist die sekundäre Spule, in welcher die Induktionsströme auftreten.

Wird durch  $a$  der Strom im primären Kreise geschlossen, so entsteht im Eisenkern und damit auch im Inneren der Spule  $s$  ein Kraftlinienfluss und in den Windungen von  $s$  wird ein Strom (Stromstoß) induziert, der den Eisenkern in entgegengesetzter Richtung umfließt als der Strom in  $p$ , also den magnetischen Kraftfluss in  $K$  abzuschwächen sucht. Der in diesem Falle in  $s$  induzierte Strom ist ein kurzer Stromstoß und dauert nur so lange an, als die Änderung des magnetischen Kraftflusses anhält. Vergrößert man die Stromstärke in  $p$ , so entsteht auch ein Induktionsstrom derselben Richtung

Fig. 86



vorher, der um so stärker ist, je schneller und je mehr die Zahl der Kraftlinien sich im Eisenkern verändert. Wenn die Stromstärke in  $p$  und damit die magnetische Induktion  $B$  im Eisenkern konstant bleibt, entsteht in  $s$  kein Induktionsstrom, nur eine Änderung des primären Stromes hat die Entstehung eines Induktionsstromes in  $s$  zur Folge.

Wird der primäre Strom durch Einschalten von Widerstand geschwächt, so entsteht in  $s$  ein Stromstoß, der den Eisenkern in die gleiche Richtung umfließt wie der Strom in  $p$ . Immer also der induzierte Stromstoß das Bestreben, den magnetischen Kraftfluss dem Betrage zu erhalten, der vor der Änderung des primären Stromes vorhanden war. Die Unterbrechung des primären Stromes wirkt bezüglich der Richtung des induzierten Stromes wie die Schwächung des primären Stromes. In allen Fällen ergibt sich die Richtung des induzierten Stromes nach der Regel II des § 27.

Die in der Spule  $s$  induzierte E.M.K. und damit auch die Stärke des Stromstoßes ist um so größer:

- 1. je größer der Betrag der Änderung des Kraftlinienflusses ist und je schneller sich diese Änderung vollzieht,
- 2. je größer die Windungszahl der Spule  $s$  ist.

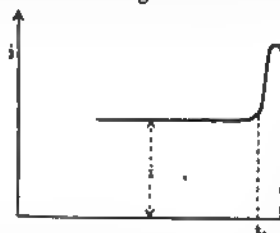
§ 30. Selbstinduktion. Bei dem in Fig. 87 dargestellten Ver-  
 he bringen die Änderungen des Stromes in einer Spule Induktions-  
 strome in einer benachbarten hervor. Wir werden jetzt sehen, dass  
 Änderungen eines Stromes in einem Leiter, besonders wenn derselbe  
 einer Spule aufgewickelt ist, in diesem selbst eine elektromotorische  
 Kraft induzieren. Diese im Leiter selbst induzierte E.M.K. — E.M.K.  
 Selbstinduktion — ist um so höher, je größer die Windungszahl  
 der Spule und je größere magnetische Permeabilität der die Win-  
 dungen umgebende Raum hat. Im Schließungskreise einer Batterie  
 ist eine Drahtspule  $S$  eingeschaltet. Schließen wir den Stromkreis,  
 so wird nach § 20 ein magnetisches Feld in der Spule hervor-  
 gerufen, dessen Stärke den Ampèrewindungen der Spule proportional

ist. Je größer ferner die Permeabilität des Innenraumes und der Umgebung der Spule ist, desto zahlreicher sind die Kraftlinien. Wir bringen daher zur Verstärkung des Feldes in das Innere der Spule

Fig. 87.



Fig. 88.



einen Eisenkern. Sobald durch das Schließen des Stromkreises Kraftlinien in der Spule  $S$  entstehen, wird in ihr selbst nach § 27 eine E.M.K. induziert. Die induzierte E.M.K. wirkt der E.M.K. der Batterie entgegen, dauert nur sehr kurze Zeit an und verhindert, daß die Stromstärke sogleich ihren durch den Widerstand der Spule nach dem Ohm'schen Gesetze bestimmten Betrag  $i$  annimmt. Erfolgt also zur Zeit  $t$  (Fig. 87) der Stromschluß, so erreicht der Strom nicht sogleich seinen schließlichen Wert  $i$ , sondern steigt, freilich in sehr kurzer Zeit, zu diesem Werte an.

Öffnen wir dagegen den Schließungskreis, so verschwinden in  $S$  die Kraftlinien. Wir erhalten also nach § 29 eine E.M.K., die mit der E.M.K. der Batterie in gleicher Richtung wirkt und zu dem Öffnungsfunken Anlaß gibt, der um so kräftiger sich zeigt, je größer die Zahl der Kraftlinien war, welche der Strom  $i$  in der Spule  $S$  erzeugte. Erfolgt also zur Zeit  $t$  (Fig. 88) das Öffnen des Stromkreises, so tritt für einen kurzen Augenblick eine merkliche Steigerung der E.M.K. auf, die aber gleich darauf auf den Wert 0 heruntersinkt.

Diese in der Spule selbst induzierte E.M.K. — ihre Selbstinduktion — tritt bei jeder Änderung der Stromstärke auf. Wird die Stromstärke durch plötzliches Einschalten eines Widerstandes oder aus einem anderen Grunde vermindert, so tritt eine E.M.K. der Selbstinduktion auf, die mit dem Strome in gleicher Richtung wirkt und zur Folge hat, daß die Änderung des Stromes nicht plötzlich vor sich geht, sondern allmählich, freilich in kurzer Zeit. Die Selbstinduktion wirkt auch ausgleichend auf die plötzlichen Änderungen des Stromes in einer Spule in ähnlicher Weise, wie ein Schwungrad die Schwankungen der Umdrehungszahl abschwächt. Der im Schwungrad aufgespeicherten mechanischen Energie entspricht dabei die im Magnetfeld der Spule angehäuften Energie.

§ 31. Induktionsströme in körperlichen Leitern (Metallmassen). (Foucaultsche Ströme, Wirbelströme.) Bislang ist nur die Induktion in Metalldrähten (linearen Leitern) betrachtet. Elektrische Ströme werden aber in jedem Leiter induziert, der magnetische Kraftlinien durchschneidet. Nach dem in § 27 erwähnten Ge-

Die von Lenz haben die induzierten Ströme solche Richtung in dem Leiter, daß sie die Bewegung desselben zu hemmen suchen.

Wenn ein an Seidenfäden aufgehängter Magnetstab einmal ganz frei dann im Innern eines kupfernen Bogels schwingt (Fig. 89), so kommt er ursprünglich gleichem Auslenkungswinkel der Magnet im letzten Falle viel schneller zur Ruhe. (Kupferner Dämpfer im Nadelgalvanometer.)

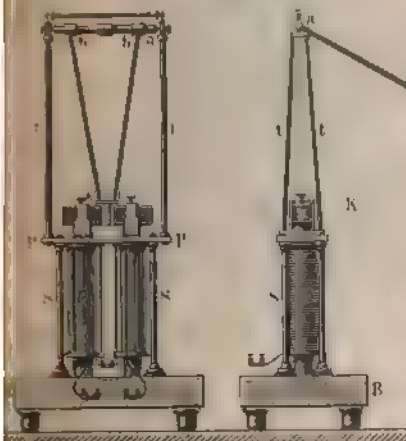
Fig. 89.



Die Induktionsströme und damit auch die die Bewegung hemmende Kraft treten in ganz derselben Weise auf, wenn Metallmassen in einem magnetischen Felde bewegt werden. So zeigt sehr auffallend die dämpfende Wirkung der Induktionsströme

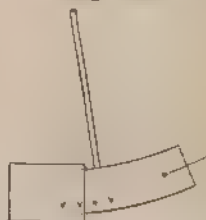
dem Waltenhofenschen Pendel (Fig. 90), bei welchem die Kupferscheibe K, die am Ende einer um aa schwingenden Pendelstange befestigt ist, zwischen den

Fig. 90.



festigt ist, zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten hindurch sich bewegen kann. Solange der Magnet nicht erregt ist, zeigt sich nur eine langsame Abnahme der Schwin-

Fig. 91.



gungswerte; bei erregtem Magneten bleibt die schwingende Scheibe K statisch im Felde zwischen den Polen stehen. Liegt vor der schwingenden Scheibe (Fig. 91) der Nordpol, so ist die Richtung der in der Scheibe induzierten E.M.K. durch die vier kleinen Pfeile gegeben. Nach § 19 haben die Induktionsströme, welche wegen des geringen Widerstandes der Kupferscheibe beträchtliche Stärke haben, solche Richtung, daß sie die Bewegung der Scheibe hemmen.

Versetzt man (Fig. 92) eine kupferne Scheibe (Foucault's Versuch) in schnelle Rotation zwischen den Polen eines Magneten, so erfordert die Drehung geringen Aufwand von Kraft, solange der Magnet nicht erregt ist.

Sobald aber durch die Magnetspulen ein Strom fließt, bleibt die rotierende Scheibe plötzlich stehen oder kann doch nur mit ziemlicher Kraftanstrengung in rascher Rotation erhalten bleiben.

Fig. 92.

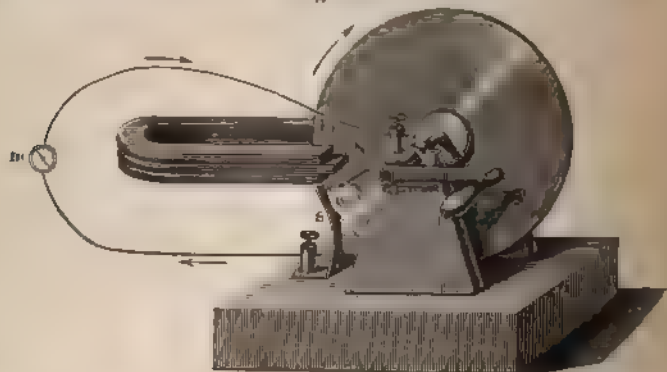


Wird die Scheibe eine Zeitlang gedreht, so erwärmt sie sich langsam (vergl. § 17). Bleibt die Drehungsrichtung unverändert, so behalten auch die Ströme, welche im allgemeinen von der Achse nach der Peripherie der Scheibe oder umgekehrt fließen, dieselbe Richtung.

Mittels des in Fig. 93 dargestellten Versuches kann man die in der rotierenden Scheibe erzeugten Induktionsströme nachweisen. Zwischen

den Magnetpolen drückt eine Metallfeder *s* gegen den amalgamirten Rand der Scheibe. Zwischen *s* und der Achse der Scheibe wird ein Galvanoskop eingeschaltet, welches einen elektrischen Strom anzeigt, sobald die Scheibe rotiert. Dabei hängt die Ablenkungsrichtung der Nadel des Galvanoskops

Fig. 93.



von der Drehungsrichtung ab, einmal zeigt die Nadel einen Strom an der vom Rande der Scheibe zur Achse geht, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung einen Strom von der Achse der Scheibe nach *s*. Verbindet man dagegen die Feder *s* und die Achse der Scheibe bzw. eine an derselben

Fig. 94.



schleifende Bürste mit den Polen einer Stromquelle, so wird die Scheibe in Drehung versetzt; das magnetische Feld wirkt nach den in § 19 behandelten Gesetzen auf den zwischen den Polen liegenden und stromleitenden Teil der Scheibe (Baldowsches Rad).

Auch wenn die leitende Verbindung zwischen der Achse und der Metallfeder *s* (Fig. 93) durch das Galvanoskop fehlt, hören die Induktionsströme nicht auf in der rotierenden Scheibe zu fließen; sobald diese Verbindung fehlt, müssen die induzierten Ströme in der Scheibe selbst ihre Kreise schließen; in der Scheibe entstehen Ströme, die etwa den in Fig. 94 dargestellten Verlauf haben (Wirbelströme).



## Zweiter Abschnitt.

# Die Gleichstrommaschinen.

## Fünftes Kapitel.

### Wirkungsweise der Gleichstromdynamo.

§ 32. Die elektrischen Maschinen im allgemeinen. Die Dynamo (Generator) ist eine rotierende Maschine, welche die auf von der Betriebsmaschine (Dampfmaschine, Turbine, Gas- motor u. s. w.) durch Riemen oder direkt übertragene mechanische Energie in elektrische Energie verwandelt. Die beiden Klemmen an der Maschine, an welche die äußere Leitung angeschlossen ist, in die von der Maschine der Nutzstrom  $i$  geliefert wird, bezeichnen wir als Polklemmen, und die Spannungsdifferenz zwischen den letzteren als Polklemmenspannung. Die Nutzleistung der Dynamo ist das Produkt aus der Polklemmenspannung und der Nutzstromstärke, ausgedrückt in Watt oder in Kilowatt (1 Kilowatt = 1000 Watt).

Eine Dynamo, welche bei 110 Volt Klemmenspannung den Strom 80 Ampere liefert, hat die Nutzleistung  $8800 \text{ Watt} = 8,8 \text{ Kilowatt}$ .

Bei der Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Energie entstehen in der Dynamo gewisse Verluste (siehe § 41), so daß nur ein Teil der aufgewendeten Energie in der Nutzleistung der Dynamo zurückerhalten wird.

Bezüglich der Stromart unterscheiden wir Gleichstromdynamos und Wechselstromdynamos. Die ersteren liefern Ströme, welche in der äußeren Leitung und allen daselbst eingeschalteten Apparaten (Meßinstrumenten, Lampen, Motoren) stets in derselben Richtung fließen. Bei den häufigsten für die elektrische Beleuchtung verwendeten Gleichstromdynamos behält bei konstanter Umdrehungszahl des Ankers die Polklemmenspannung einen fast unveränderlichen Wert, und der Strom schwankt in diesem Falle nur (vergl. § 14) bei Änderung des Widerstandes der äußeren Leitung. Bleibt der letztere konstant, so behält auch die Stromstärke ihren unveränderlichen Wert. Während bei den Gleichstromdynamos stets an derselben (positiven) Polklemme aus der Strom in die äußere Leitung fließt, und der Widerstand des Maschinenstromkreises) fließt, und zur anderen



(negativen) Polklemme zurückfließt, können wir bei der Wechselstromdynamo nicht zwischen negativer und positiver Polklemme unterscheiden, weil der Strom fortwährend in der äußeren Leitung wie auch in der Maschine selbst seine Richtung wechselt und zwar in den meisten Fällen bei den bei uns eingeführten Wechselstromdynamos 100mal in der Sekunde. Durch die äußere Leitung fließt von der einen Polklemme ein von Null bis zu einem Höchstwerte ansteigender Strom, dessen Stärke sogleich in derselben Weise wieder auf Null herabsinkt, um dann in entgegengesetzter Richtung, also von der anderen Polklemme aus, wieder bis zum Höchstbetrage auszuweichen und nachher bis zu Null abzunehmen u. s. f. Die Wechselstromdynamo liefert also Ströme, welche sowohl ihre Richtung als auch ihre Stärke periodisch ändern.

Als Hauptteile der Dynamo unterscheiden wir: 1. Den Anker mit seiner Bewickelung aus isolierten Drähten oder Stäben aus Kupfer. Der Anker ist bei den elektrischen Maschinen derjenige Teil, in dessen Bewickelung bzw. Spulen bei der Rotation im magnetischen Felde elektromotorische Kräfte hervorgebracht werden.

Bei den Gleichstromdynamos rotiert der Anker in einem zwei- oder mehrpoligen Felde. Bei allen Wechselstromdynamos rotiert der Anker in einem mehrpoligen Felde, ebenso oft haben wir einen feststehenden Anker, in dessen Innerem der mehrpolige Feldmagnet rotiert.

2. Den Feldmagneten, welcher zur Erzeugung des magnetischen Feldes dient.

Wir werden später sehen, daß in den einzelnen Spulen, aus denen die Ankerwicklung der Gleichstromdynamos besteht, Wechselströme hervorgebracht werden. Durch den neben dem Anker der Gleichstromdynamo auf der Welle befestigten Kommutator oder Kollektor und durch die auf dem rotierenden Kollektor schleifenden und feststehenden Bürsten werden die einzelnen, in wechselnder Richtung im Anker erzeugten Stromimpulse immer in der gleichen Richtung oder von derselben Bürste aus in die äußere Leitung gesandt.

Motor ist jede rotierende Maschine, die elektrische Leistung in mechanische verwandelt. Unter der Leistung des Motors verstehen wir dabei die an seiner Welle bzw. Riemenscheibe hervorgebrachte mechanische Leistung. Letztere wird in Pferdestärken angegeben. Wie in den Dynamos, so entstehen auch im Motor bestimmte Verluste, so daß nicht alle vom Motor verbrauchte elektrische Energie in der Leistung wiedererhalten wird. Der Motor ist die Umkehrung der Dynamo. Jede Dynamo läßt sich im allgemeinen auch als Motor verwenden (vergl. § 46).

Wir wenden uns zunächst zur Wirkungsweise der Dynamos für Gleichstrom.

§ 33. Der Ringanker. Der Kern des Ringankers hat die Gestalt eines Hohlzylinders, der mittels des Ankersternes ss (Fig. 95) auf der Welle befestigt ist. Fig. 95 zeigt einen zur Welle senkrechten Schnitt durch den Ringanker. Der Kern ist aus kreisrunden Blechen von

0,7 mm Dicke aus weichem Eisen aufgebaut; die einzelnen Bleche sind durch dünne Papierscheiben voneinander isoliert. Die Konstruktion des Ringankers ist in § 37 beschrieben.

Der Ringanker liegt zwischen zwei cylindrisch ausgebohrten Polschuhen (Fig. 96), so daß der Abstand zwischen Polfläche und Ankeroberfläche nur wenige Millimeter beträgt. Die Pole liegen am Umfange

Fig. 95.

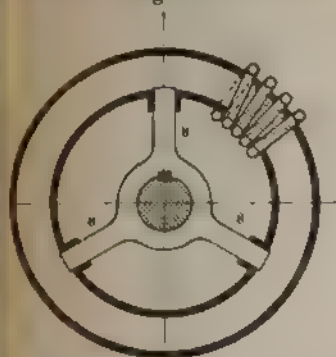
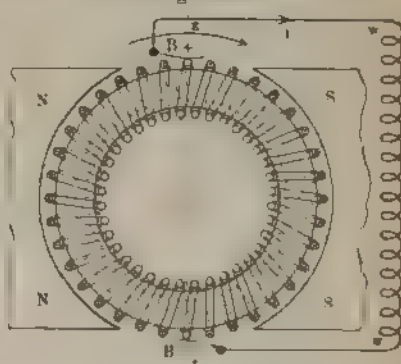


Fig. 96.



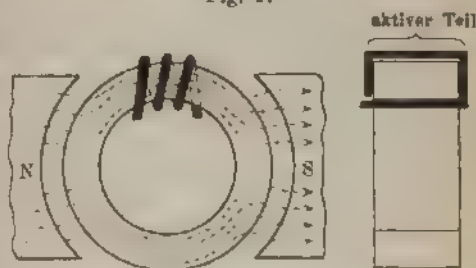
des Ankers einander gegenüber, und jeder umgibt den Anker in einem Winkel von etwa  $120^\circ$ .

Durch die Papierschichten, welche senkrecht zur Welle liegen, wird der Übergang der Kraftlinien von Pol zu Pol nicht beeinflusst, weil jede der Kraftlinien am Nordpol in eine der Eisenscheiben eintritt und aus derselben auf der entgegengesetzten Seite zum Südpol übergeht. Im Luftzwischenraum verlaufen die Kraftlinien in den Richtungen der verlängerten Cylinderradien. Das Kraftliniendiagramm ist bereits in Fig. 19 besprochen.

Auf den Ringanker wird eine in sich geschlossene Spiralschleife (geschlossene Ankerwicklung) gebracht. Fig. 96 stellt einen zur Achse senkrechten Schnitt durch die

Fig. 97

Wicklung dar. Der Teil der Windungen auf der vorderen Stirnfläche des Ankers ist ausgezogen, dagegen auf der hinteren Stirnfläche punktiert. Die auf den Stirnflächen und an der Innenseite des Ankers liegenden Teile der Win-



dungen (Fig. 97) schneiden bei der Rotation des Ankers keine Kraftlinien. Dagegen schneidet jeder Leiter an der Außenseite des Ankers bei einer vollen Umdrehung zweimal die sämtlichen Kraftlinien, welche vom Nordpol durch den Anker zum Südpol übergehen. Nur die Teile

der Wickelung an der Außenseite des Ankers, die kurzweg als wirksame Leiter bezeichnet werden sollen, sind elektromotorisch aktiv, und jede Windung hat eine wirksame Seite.

Jeder wirksame Leiter verhält sich wie das in § 27 besprochene Gleitstück  $L$  (vergl. Fig. 81).

Dreht sich der Anker, so zeigen die Kraftlinien bei der festen Lage der Pole stets denselben in Fig. 97 dargestellten Verlauf. Nach der Drehungstheorie (vergl. § 5) findet also eine fortgesetzte Umlagerung der Molekularmagnete des Ankers statt, indem ihre magnetischen Achsen für jede Stellung des Ankers in die Richtung der Kraftlinien gebracht werden.

Die Wickelung des Ankers besteht aus isoliertem Kupferdraht, die Windungen sollen lückenlos nebeneinander liegen. Der Uebertritt wegen ist in Fig. 96 zwischen den Windungen ein Abstand gezeichnet. Um die in der Wickelung bei der Rotation des Ankers induzierten Ströme ableiten zu können, sollen die Drähte an der Außenseite von der Isolation befreit sein, jedoch sind alle Windungen gegeneinander und gegen den Eisenkern des Ankers isoliert. Der Anker rotiere im Sinne der Bewegungsrichtung des Uhrzeigers im Felde zwischen den Polen. Die wirksamen Leiter an der Außenseite des Ankers, welche gerade in der neutralen Zone  $sz$  liegen, schneiden keine Kraftlinien, die in ihnen induzierte E.M.K. ist also gleich Null. Bestimmen wir nach der Regel I, § 27 die Richtung der induzierten E.M.K. in den Drähten an der Außenseite des Ankers, welche außerhalb der neutralen Zone liegen, so ergibt sich bei der in Fig. 96 gegebenen Richtung der Kraftlinien und bei der angenommenen Drehungsrichtung, daß in den rechts von der neutralen Zone liegenden Drähten die elektromotorischen Kräfte nach dem Beschauer hin gerichtet, dagegen in den vor dem Nordpole liegenden Drähten von ihm fortgerichtet sind<sup>1)</sup>. Demnach wirkt in beiden Ringankerhälften, die durch die neutrale Zone  $sz$  entstehen, eine E.M.K. nach der in der Figur am höchsten liegenden Windung. Die an den Stirnflächen und an der Innenseite des Ankers liegenden Teile der Windungen dienen nur zur Verbindung der wirksamen Leiter, welche in jeder Ankerhälfte hintereinander geschaltet sind. Die gesamte, in jeder Ankerhälfte induzierte E.M.K. ergibt sich als die Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen wirksamen Leiter dieser Hälfte.

Für jede Stellung des Ankers sind die elektromotorischen Kräfte in den wirksamen Leitern auf der einen Seite der neutralen Zone entgegengesetzt gerichtet wie auf der anderen Seite; sobald ein wirksamer Leiter die neutrale Zone passiert, nimmt die induzierte E.M.K. die entgegengesetzte Richtung an wie vorher. Demnach stellt Fig. 9:

<sup>1)</sup> Bezüglich der Bezeichnung der Stromrichtung durch Punkte und Kreuze in den die Drahtquerschnitte darstellenden Kreisen vergl. § 20.

zugleich die Richtungen der elektromotorischen Kräfte für alle Verstellungen dar.

In der neutralen Zone stellen die Bürsten die Verbindung des Ankers mit dem äußeren Stromkreise her. In Fig. 96 liegt die positive Bürste  $B_+$  oben, die negative  $B_-$  unten. Infolge der in den Ringankerhälften induzierten E.M.K. ist zwischen den Bürsten eine Spannungsdifferenz — die Bürstenspannung — vorhanden. Wird die positive Bürste mit der negativen durch den Widerstand  $w$  verbunden, so fließt ein Strom  $i$  durch ihn von  $B_+$  nach  $B_-$ , wo sich der Strom in zwei gleiche Teile teilt; durch jede Ringankerhälfte wird der Strom  $\frac{1}{2}i$  zur positiven Bürste zurückgetrieben. Hier vereinigen sich wieder die beiden Hälften, um in der äußeren Leitung zusammen den Strom  $i$  zu liefern. Wir haben demnach bei dem zweipoligen Ringanker (Fig. 96) zwei Ankerstromzweige mit gleichen elektromotorischen Kräften. Die beiden Ankerstromzweige sind zwischen den Bürsten parallel geschaltet. Somit ist die E.M.K. des Ankers gleich derjenigen jedes der beiden Ankerstromzweige.

Die beiden Ringankerhälften verhalten sich wie zwei parallel geschaltete gleich beschaffene Elemente (Fig. 98). Hier ist die E.M.K. des Schließungsstromes auch gleich der E.M.K. jedes der beiden Elemente, ist ferner  $i$  der Strom im äußeren Widerstand, so fließt in Fig. 98 durch jedes Element der Strom  $i/2$ .

Kehrt man in Fig. 96 die Drehungsrichtung des Ankers um, während die Pole ihre Lage behalten, so nehmen die induzierten elektromotorischen Kräfte in den wirksamen Leitern die entgegengesetzte Richtung an, wie in Fig. 96 angegeben; es fließt auch im äußeren Widerstand der Strom der entgegengesetzten Richtung. Dasselbe tritt ein, wenn wir die Drehungsrichtung des Ankers beibehalten, aber die Lage der Pole vertauschen und damit die Richtung der Kraftlinien umkehren.

Die in dem zweipoligen Ringanker (Fig. 96) induzierte E.M.K. bzw. die in jedem Ankerstromzweige induzierte E.M.K. ist gleich

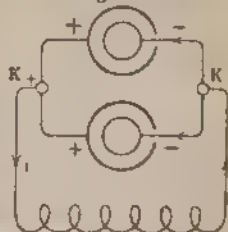
$$E = \frac{n \cdot z \cdot \Phi}{60} 10^{-8} \text{ Volt,}$$

bei  $n$  die Tourenzahl des Ankers pro Minute,  $z$  die Zahl der wirkenden Leiter an der Außenseite des Ankers oder beim Ringanker zugleich die Zahl der Windungen auf dem Anker, und  $\Phi$  die Zahl der Kraftlinien bedeutet, welche vom Nordpol durch den Anker zum Südpol durchgehen.

Die induzierte E.M.K. ist proportional der Tourenzahl des Ankers und dem magnetischen Kraftlinienflusse im Anker bzw. Luftzwischenraum.

Der in Fig. 96 dargestellte Apparat bildet einen geschlossenen Stromkreis. Der innere Widerstand des Stromkreises ist der Widerstand der beiden

Fig. 98.



parallel geschalteten Ringankerhalten. Ist  $W$  der Widerstand des ganz zur Bewickelung des Ankers benutzten Drahtes, so hat jeder Ankerstromzweig den Widerstand  $\frac{W}{2}$ . Der Widerstand  $w_a$  des Ankers zwischen den

Bürsten ist also  $w_a = \frac{W}{4}$  (vergl. § 16 und Gleichung 16) so ist der Widerstand des äußeren Stromkreises, der an die Bürsten (Fig. 96) angeschlossen ist, so ist die Stromstärke  $i = \frac{e_b}{w}$ , wenn mit  $e_b$  die Bürstenspannung bezeichnet wird. Wir haben ferner für die B.M.K.

$$E = i(w_a + w) \quad \text{oder} \quad i = \frac{E}{w_a + w}$$

Die Beziehungen zwischen den hier auftretenden Größen lassen sich schematisch graphisch darstellen wie in Fig. 32.

Auf die vom Strome durchflossenen Ankerleiter wird nach § 19 von dem magnetischen Felde eine Zugkraft ausgeübt, welche der Drehung des Ankers entgegen wirkt. Diese Zugkraft wirkt tangential am Umfange des Ankers und ist zu den Ankerleitern und zur Richtung der Kraftlinien senkrecht. Soll also der Anker in Drehung erhalten bleiben, so muß die Betriebsmaschine an der Welle bzw. Bremenscheibe der Dynamo mit einem Drehungsmoment wirken, welches der Summe aller Drehungsmomente gleich ist, die von den auf die Ankerleiter ausgeübten Zugkräften herrühren. Letztere wachsen in gleichem Verhältnis mit der Stromstärke in den Ankerleitern. Je größer der Ankerstrom ist, um so größeres Drehungsmoment muß an der Welle von Seiten der Betriebsmaschine hervorgebracht werden. Somit hat die im Anker erzeugte elektrische Energie ihr Äquivalent in der von der Betriebsmaschine aufgewendeten mechanischen Energie.

Die Anordnung der Bürsten an der Außenseite des Ankers sowie die Stromabnahme direkt aus den wirksamen Leitern kommt nur bei den großen Innenpolmaschinen vor (vergl. § 43). Ringanker für kleine und mittlere Leistungen haben einen auf der Welle neben dem Anker befestigten Kollektor, der cylindrische Gestalt hat und aus einer Reihe von Segmenten besteht, die gewöhnlich aus stark kupferhaltiger Phosphorbronze hergestellt und voneinander und von der Welle durch Einlagen von Glimmer isoliert sind. Über die Konstruktion des Kollektors vergl. § 39.

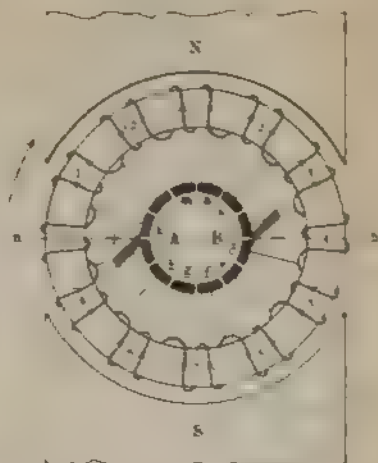
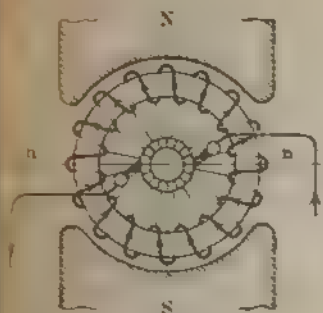
Am leichtesten ist die Wirkungsweise des Kollektors zu übersetzen, wenn wir jeden Draht an der Innenseite des Ankers mit einer Lamelle verbinden, die Lamellenzahl also gleich der Windungszahl des Ankers wählen und zwischen je zwei Lamellen eine Windung einschalten (Fig. 99). Die Bürsten liegen dabei auf den Lamellen und mit den in der neutralen Zone liegenden Windungen direkt verbunden sind. Da selbst bei kleinen Ringankern die Wicklung aus einigen Hundert Windungen besteht, so würde die in Fig. 99 dargestellte Anordnung wegen der zahlreichen Lamellen zur Anwendung von sehr teuren Kollektoren führen.

Bei den in der Praxis ausgeführten Ringankern ist die Zahl der Kollektorlamellen meistens kleiner als die Zahl der wirksamen Leiter.

Windungen auf dem Anker. Zwischen je zwei benachbarten Lamellen ist eine auf dem Ringanker gewickelte Spule mit mehreren Windungen eingeschaltet; die Spulen desselben Ringankers haben gleiche Windungszahl. Das Schema eines solchen Ankers ist in Fig. 100 dargestellt.

Fig. 100.

Fig. 99.



wobei der Übersicht wegen nur 12 Lamellen gezeichnet sind, und jede Ankerspule nur zwei Windungen hat. Der Anfang einer Spule und das Ende der vorhergehenden sind durch einen Draht oder Stab aus Kupfer mit der entsprechenden Lamelle verbunden.

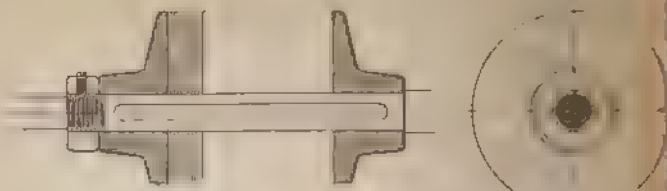
Nur diejenigen Verbindungen der Ankerwicklung mit dem Kollektor dienen zur Stromleitung, welche an die Lamellen angeschlossen sind, die gerade unter den Bürsten liegen. Die Strecke, längs welcher die Metallbürsten am Kollektorumfang aufliegen, ist gleich der Breite der Kollektorstreifen oder etwas größer. Da die Isolierschicht aus Glimmer zwischen den Lamellen nur sehr dünn ist, so wird zeitweise die Bürste gleichzeitig zwei Lamellen bedecken (Fig. 100) und die zwischen diesen Lamellen liegende Ankerspule kurz schließen. Dies ist in Fig. 100 der Fall für die Spulen 4 und 9. Über die Wirkungen dieses Kurzschlusses ist ausführlich die Rede in § 44. Durch den Kurzschluss wird zugleich auch jeder Ankerhalfte die Wirksamkeit einer Spule und damit einer bestimmten Anzahl wirksamer Ankerorienter entzogen. Dabei erfolgt freilich der Kurzschluss einer Spule zu einer Zeit, wo die in der Spule induzierte E. M. K. fast gleich Null ist. Hiermit entstehen Schwankungen der induzierten E. M. K., die aber um so geringer ausfallen, je größer die Spulenzahl ist. Außerdem trägt die Selbstinduktion der Ankerspulen (§ 30) dazu bei, die Schwankungen der E. M. K. bzw. des Stromes abzuschwächen.

**§ 34. Der Trommelanker.** Der Trommelanker hat die Gestalt eines Cylinders und ist, wie der Ringanker, aus Eisenblechen aufgebaut. Fig. 101 stellt einen Trommelanker für kleine Maschinen dar. Die Eisenblechscheiben sind direkt auf die Welle aufgesetzt; sie sind, wie beim Ringanker, durch Blätter aus dünnem Papier voneinander getrennt



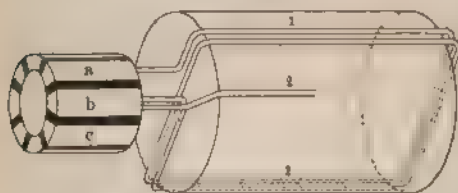
und werden durch zwei kräftige Scheiben aus Bronze oder Guss zusammengehalten. Fig. 102 stellt eine Spule 1—1' aus zwei Windungen auf dem Trommelanker dar, der für ein zweipoliges Feld

Fig. 101.



stimmt ist. Die Windung entspricht fast dem rechteckigen Querschnitt des cylindrischen Ankerkörpers; d. h. die Spule des Trommelankers hat zwei wirksame Seiten 1 und 1', die am Umfang

Fig. 102.



Ankers fast diametral voneinander gegenüber liegen. Zwischen den Kollektorlamellen *b* und *c* ist die Spule 2—2' eingeschaltet. Da der Einfachheit wegen nur 8 Kollektorlamellen genommen sind, so hat wir auch 8 Spulen,

mit Bezug auf Fig. 102 16 . 2 wirksame Ankerleiter. Am Umfang des Ankers (Fig. 102) sind also an 16 Stellen gleichmäßig verteilte wirksame Drähte angebracht, so daß 16 Wicklungsfelder vorhanden sind.

In den nächsten Figuren 103 bis 109 wollen wir der Übersichtlichkeit wegen in jedem Wicklungsfelde nur einen Draht annehmen, so daß jede Ankerspule eine Windung enthält. Bei den wirklich geführten Trommelankern ist die Zahl der Kollektorlamellen erheblich größer als 8, auch ist meistens zwischen je zwei Lamellen eine Spule mit mehreren Windungen eingeschaltet.

Fig. 103 stellt das Schema der Wicklung eines zweipoligen Trommelankers dar. Die Verbindungen der wirksamen Drähte an den Stirnflächen sind durch einfache Linien dargestellt, die auf der vorderen Stirnfläche ausgezogen, auf der hinteren punktiert sind. Gehen wir in der Uhrzeigerichtung von 1 aus, so liegt 1' im 7. Wicklungsfelde von 1.

Die Spule 1—1' hat ihren Anfang 1 bei *a* und ihr Ende 1' bei *b*. Die Spule 8—8' beginnt an der Lamelle *b* und endet bei *a*. So ist der Anfang der Spule 1 mit dem Ende 8' der Spule 8 verbunden. Der sogenannte Wicklungsschritt ist gleich 7, d. h. der Anfang der Spule 5 ist mit dem Ende der Spule 8 verbunden, d. i.  $(8) + 4$ , also mit dem Ende der vierten Spule oder mit 4' verbunden. Die Theorie der Ankerwicklungen lehrt, daß die

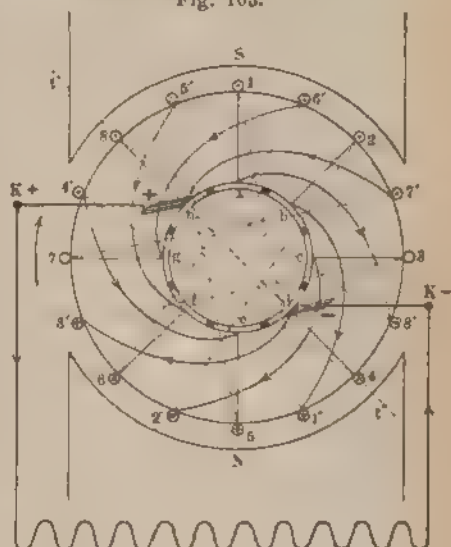
Verbindung der Ankerspulen und ermittelt den Wicklungsschritt aus der Zahl der Wicklungsfelder, aus der Polzahl und der Zahl der Ankerzweige.

Betrachten wir die Lage der Windungen 1—1', 2—2', u. s. w., ist jede aus der vorhergehenden durch eine Rechtsdrehung um einen Winkel von  $45^\circ$  über.

Der Pfeil am Umfange des Ankers gibt die Drehungsrichtung des Ankers an. Für die in Fig. 103 dargestellte Lage des Ankers sind die

Fig. 103.

Einflussrichtungen der induzierten elektromotorischen Kräfte in den Ankerleitern angegeben. In den beiden Ankerarmen 8 und 7', die direkt mit der Lamelle *h* verbunden sind, wirken die elektromotorischen Kräfte nach unten. In den Leitern, die mit der Lamelle *d* verbunden sind, wirken die elektromotorischen Kräfte nach oben. Bei der in Fig. 103 gezeigten Stellung des Ankers ergibt sich leicht die Verfolgung der Stromrichtung, daß die feststehenden Bürsten auf den Ankerarmen *h* und *d* aufliegen.



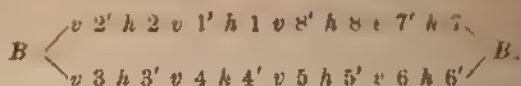
Die Bürsten liegen in der Linie *tt'* auf, die von der neutralen Zone abweicht. Diese Abweichung fällt um so geringer aus, je größer die Zahl der Wicklungsfelder oder der Spulen ist. Bei dem nach dem Wicklungsschema (Fig. 103) wirklich ausgeführten Anker ist *tt'* nahezu senkrecht zur Verbindungslinie der Pole. Für die Stellung des Ankers (Fig. 103) ist die Lage der beiden Ankerstromzweige

$$B_- \begin{cases} v 3' h 3 v 2' h 2 v 1' h 1 v 8' h 8 \\ v 4 h 4' v 5 h 5' v 6 h 6' v 7 h 7' \end{cases} B_+$$

Die Buchstaben *v* und *h* sollen Verbindungen bzw. auf der vorderen und hinteren Stirnfläche bezeichnen.

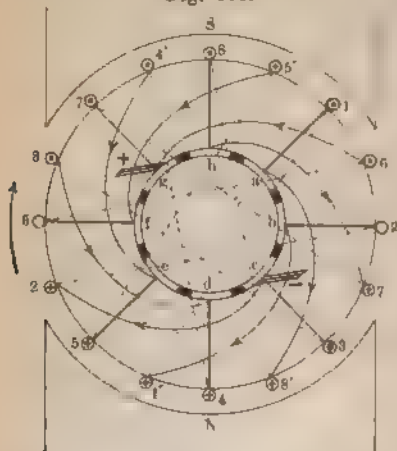
Jeder der beiden Ankerstromzweige enthält gleich viele wirksame Segmente. Hat sich der Anker um  $45^\circ$  gedreht (Fig. 104), so liegt jetzt die Lamelle *g* unter der Bürste, dagegen die Lamelle *c* unter der anderen Bürste, und wir haben folgende Gruppierung der wirksamen Leiter





d. h. im Vergleich zur vorigen Gruppierung haben die beiden Ankerstromzweige die Leiter 3', 3 und 7, 7' gegeneinander ausgetauscht, und

Fig. 104.



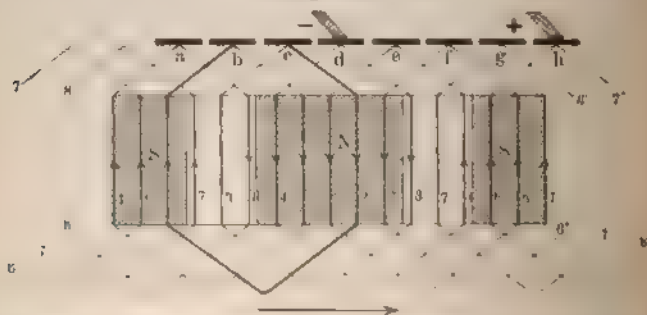
während im ersten Schema (Fig. 103) der Strom von 3' nach 3 bzw. 7 nach 7' fließt, geht er beim zweiten Schema (Fig. 104) von 3 nach 3' bzw. 7' nach 7. Diese Drähte haben bei der betrachteten Bewegung die neutrale Zone passiert, und dabei ist die Richtung der E.M.K. in ihnen umgekehrt.

Schneidet man längs des Leiters 1 (Fig. 103) den Mantel des Trommel auf, und wickelt man ihn mit den Leitern in eine Ebene ab, so ergibt sich Fig. 105. Für die Stellung des Ankers (Fig. 103) und die Pole hinter den Drähten durch schraffierte Flächen angedeutet. Die

Verbindungen auf den Stirnflächen sind durch gebrochene Linien dargestellt. In der Richtung des Pfeiles bewegen sich die Drähte an den Polen vorüber. Die Ausbreitung des Wicklungsschemas in eine Ebene läßt sehr gut die Verbindungen an den Stirnflächen erkennen. Der Kollektor ist gleichfalls abgewickelt, so daß die Lamellen nebeneinander liegen.

In Fig. 105 ist ein Wicklungselement 2 — 2' besonders hervor gehoben. Dasselbe besteht aus denjenigen Ankerleitern, die zwischen zwei

Fig. 105.



in der Wicklung aufeinander folgenden Kollektorlamellen liegen. Jedes Wicklungselement hat beim Trommelanker zwei wirksame Seiten. Denken wir uns an den 16 Wicklungselementen Nuten zur Aufnahme der Ankerleiter angebracht und ziehen wir von der Lamelle a den Draht durch das Wicklungsfeld 1, dann durch 1', nun über die vordere Stirnfläche und wieder durch 1 — 1' und so fort mehrere Male, so erhalten wir

wickelungselement eine Ankerspule mit mehreren Windungen. Auf diese Weise kann zur Steigerung der E.M.K. (vergl. Formel 29) die Zahl  $z$  der Elementen Ankerleiter vermehrt werden.

Fig. 106.

Je zwei benachbarte und parallele Spulen, z. B. 3—3' und 7—7', sind durch die Bürsten kurz geschlossen, während die Drähte 3' und 7' gerade in der neutralen Zone liegen (Fig. 106). Bei hinreichend großer Zahl der Spulen liegen die Ebenen der Windungen 3—3' und 7—7' in diesem Augenblick des Kurzschlusses nahezu senkrecht zur Pollinie. Während dieses Kurzschlusses, bei welchem

die Enden der Spulen 3—3' durch die negative Bürste, die Enden der Spule 7—7' durch die positive Bürste ohne Widerstand verbunden sind, haben wir folgende Ankerstromzweige:

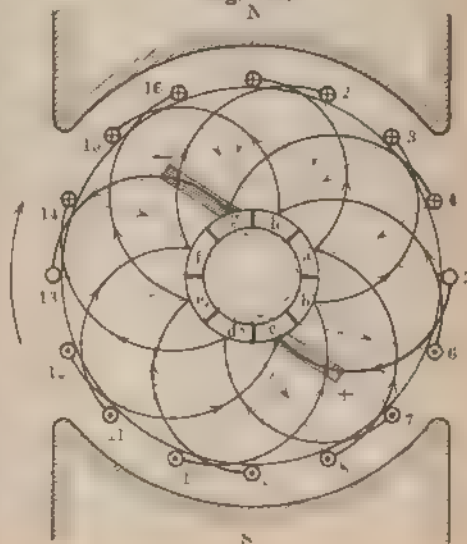
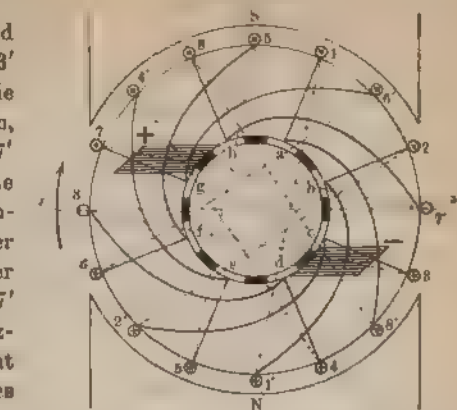
$$B_- \begin{matrix} 4 & h & 4' & v & 5 & h & 5' & v & 6 & h & 6' \\ 2' & h & 2 & v & 1' & h & 1 & v & 8' & h & 8 \end{matrix} B_+$$

Während des Kurzschlusses ist also die Zahl der wirksamen Drähte kleiner. Auch hier gilt über das Schwanken der E.M.K., sowie über die weiteren Wirkungen des Kurzschlusses das beim Ringanker (§ 33) Erwähnte.

Fig. 107.

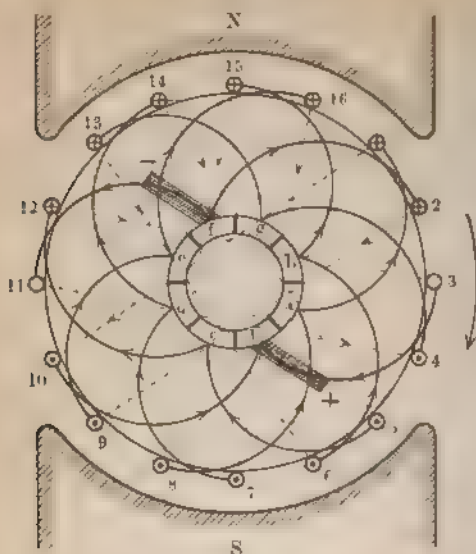
Verfolgt man von der Lamelle  $b$  (Fig. 105) aus im Linienzug  $b-2-2'-3-3'-d$  u. s. w., so ergibt derselbe den Verlauf einer Schleifenlinie. Wie in Fig. 103 bis 106 dargestellte Wickelung ist eine rechtsgängige Schleifenwicklung.

Die Spannungsdifferenz zwischen zwei benachbarten Spulen einer Trommelwicklung wird im Maximum gleich der ganzen Potensspannung. In Fig.



104 ist z. B. die Spule 7—7' mit der + Bürste, die benachbarte Spule 3—3' mit der —Bürste in Verbindung. Diese Eigenschaft

Fig. 108



finden wir bei jeder Umdrehung der Trommel und derselben wird der Anker für die Erregerhoher Spannungen geeignet (vergl. § 38).

**Zweipoliger Trommelanker mit Wellenwicklung** (Fig. 107 u. v. S.). Auch hier wird der Übersicht wegen 16 Wicklungsfelder angenommen. Der Anker (Fig. 107) soll sich in der Richtung der Uhrbewegung im magnetischen Felde drehen.

Zwischen den Lamellen *a* und *b* liegen die beiden Ankerdrähte, welche ein Wicklungselement oder eine Ankerspule bilden.

Der Leiter 1 ist auf der vorderen Stirnfläche über *a* mit 8 verbunden, dieser auf der hinteren Fläche mit 15 u. s. w.; die Verbindung geht immer um 7 Wicklungsfelder weiter, wobei der Linienzug 1—*a*—8—15—*b*—6 den Mittelpunkt der Trommel umschließt. Dies ist charakteristisch für die Wellenwicklung.

Durch Verfolgen der Stromrichtung ergibt sich, daß für Fig. 107 gezeichnete Stellung des Ankers die positive Bürste auf Lamelle *c*, die negative Bürste auf *g* aufliegt. Wir erhalten daher für die Fig. 107 entsprechende Stellung des Ankers die beiden Stromzweige:

$$B \left\{ \begin{array}{l} 13 \ h \ 6 \ v \ 15 \ h \ 8 \ v \ 1 \ h \ 10 \ v \ 3 \ h \ 12 \\ 4 \ h \ 11 \ v \ 2 \ h \ 9 \ v \ 16 \ h \ 7 \ v \ 14 \ h \ 5 \end{array} \right\} B_+$$

In der einen Reihe ist in dem betrachteten Augenblick (Fig. 107) Draht 13, in der anderen Reihe 5 nicht aktiv, weil diese in der Totzone liegen.

Fig. 108 zeigt die Stellung nach einer Drehung um 45°, wir erhalten die Ankerstromzweige:

$$B \left\{ \begin{array}{l} v \ 11 \ h \ 4 \ v \ 13 \ h \ 6 \ v \ 15 \ h \ 8 \ v \ 1 \ h \ 10 \ v \\ v \ 2 \ h \ 9 \ v \ 16 \ h \ 7 \ v \ 14 \ h \ 5 \ v \ 12 \ h \ 3 \ v \end{array} \right\} B_+$$

haben.

Schneidet man die Wicklung (Fig. 107) längs des Drahtes 1 auf, und breitet man sie in eine Ebene aus, so ergibt sich das Schema

Fig. 109.

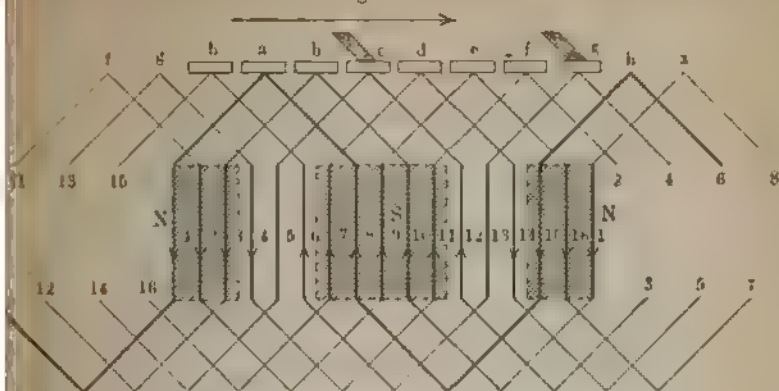


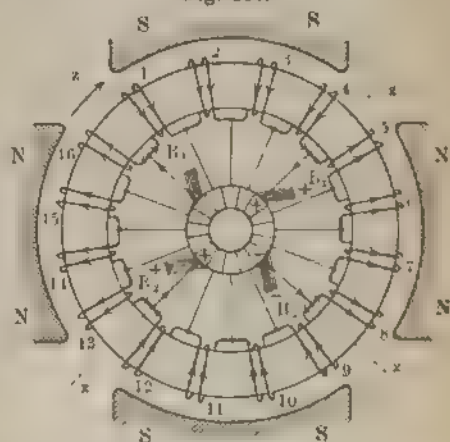
Fig. 109. Verfolgt man den Linienzug 10 — 1 — 8 — 15 u. s. w., so ergibt sich, daß die Wicklung (Fig. 107 bis 109) eine Wellenwicklung ist.

### § 35. Der vierpolige Ringanker mit Parallelschaltung.

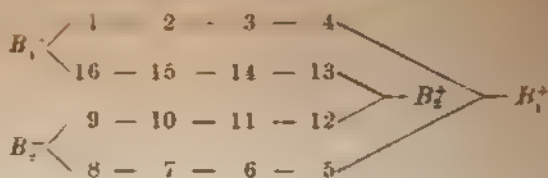
Die Wicklung des Ringankers (Fig. 110), der in einem vierpoligen

Fig. 110.

felde rotiert, unterscheidet sich in der Anordnung der Spulen nicht von der in Fig. 100 dargestellten Wicklung des zweipoligen Ringankers. Um den Umfang des Ankers (Fig. 110) herum liegen in symmetrischer Anordnung abwechselnd Nord- und Südpole. Der Ringanker (Fig. 110) enthält 16 Spulen mit je zwei Endungen und je zwei stromführenden Ankerleitern. Für die in Fig. 110 dargestellte Lage des Ankers sind die Stromrichtungen in den Spulen angegeben. Bei einer vollen Umdrehung wechselt der Strom in jeder Spule viermal seine Richtung. Wir haben ferner zwei neutrale Zonen  $zz$ . Für jede Lage des Ankers haben wir vier Ankerstromzweige, und zwar mit Bezug auf Fig. 110:

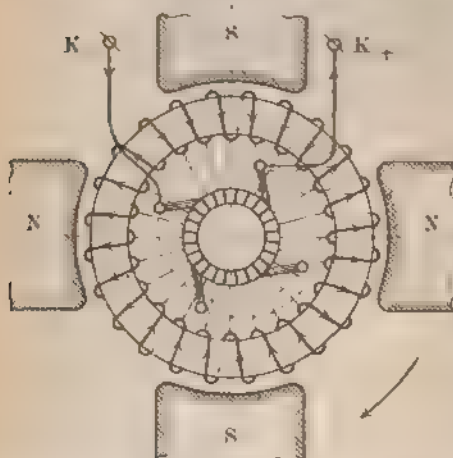


Bei einer vollen Umdrehung wechselt der Strom in jeder Spule viermal seine Richtung. Wir haben ferner zwei neutrale Zonen  $zz$ . Für jede Lage des Ankers haben wir vier Ankerstromzweige, und zwar mit Bezug auf Fig. 110:



Die beiden positiven Bürsten sind unter sich und mit der  $+$ -Polklemme der Dynamo verbunden. Ebenso sind die beiden negativen

Fig. 111.



Bürsten unter sich und mit der negativen Polklemme in Verbindung. Die E. M. K. des Ankers ist gleich der E. M. K. jedes der vier Ankerstromzweige, die zwischen den Bürsten parallel geschaltet sind. Gibt der Anker den Strom  $i$  Ampere, so fließt durch jeden der Ankerstromzweige der Strom  $i/4$ . Bei der Rotation des Ankers tauschen die Ankerstromzweige ihre Spulen gegeneinander aus, beim

Übergang von einer der vier Gruppen zur anderen passiert die Spule eine der neutralen Zonen, wobei die E. M. K. ihre Richtung wechselt.

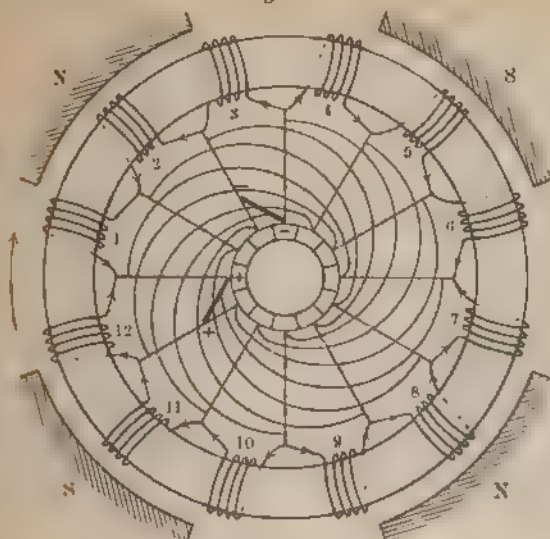
Fig. 111 stellt ebenfalls das Schema eines vierpoligen Ringankers mit Parallelschaltung dar, bei welchem der Übersicht wegen zwischen je zwei Kollektorlamellen nur eine Windung gelegt ist.

Bei dem vierpoligen Anker mit Parallelschaltung stimmt die Zahl der Ankerstromzweige und der Bürsten mit der Zahl der Pole überein. Dasselbe gilt für Ringanker mit Parallelschaltung bei sechs und mehr Polen. Bei drei Polpaaren liegen die sechs Bürsten im Winkelabstand von  $60^\circ$  am Kollektor auf.

Bei dem in Fig. 112 dargestellten Ringanker ist die Anwendung von vier Bürsten dadurch vermieden, daß neben dem Kollektor Verbindungen zwischen den Spulen ausgeführt sind; z. B. ist die Lamelle, an welche die Spulen 8 und 9 angeschlossen sind, in dauernder Verbindung mit der Lamelle, die mit den Spulen 2 und 3 zugleich verbunden ist. Durch diese Verbindungen werden zwei Bürsten unnötig trotz der vier Ankerstromzweige. Die beiden erforderlichen Bürsten liegen um  $90^\circ$  voneinander entfernt am Kollektor auf. Dies bietet den Vorteil, daß die Bürsten so eingestellt werden können, daß sie

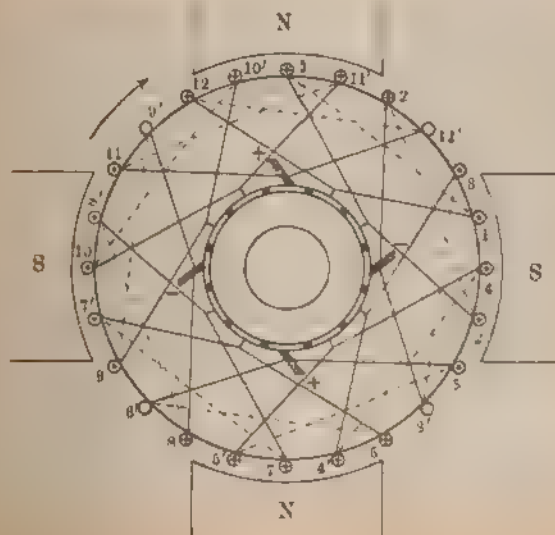
leicht zugänglich sind und bequem beobachtet werden können. Dagegen ist das Unterbringen der Verbindungsdrähte an der Stirnfläche des Ankers schwierig und erfordert sehr gute Isolation.

Fig. 112.



**§ 36. Der vierpolige Trommelanker mit Parallelschaltung.**  
**Ankerwickelungen mit Serienschaltung.** Unter den zahlreichen verschiedenen Wickelungen ist der in Fig. 113 dargestellte vierpolige

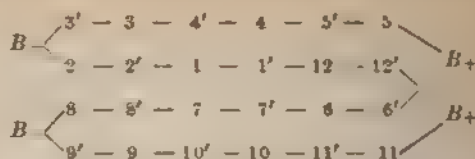
Fig. 113.





Trommelanker mit Schleifenwicklung ausgewählt. Der Übersicht wegen ist die Zahl der Ankerspulen zu 12 angenommen.

Für die in Fig. 113 gezeichnete Stellung des Ankers haben wir folgenden Stromlauf



Die beiden  $+$ -Bursten sind unter sich und mit der  $+$ -Polklemme verbunden; ebenso stehen beide  $-$ -Bursten mit der  $-$ -Polklemme der Dynamo in Verbindung. Demnach haben wir auch hier vier parallel geschaltete Ankerstromzweige, die alle die gleiche Spulenzahl enthalten.

Die Drähte  $1-1'$ ,  $2-2'$  u. s. f. bilden ein Wickelungselement, das hier etwa ein Viertel des Ankerumfangs umfaßt. Das Ende  $1'$  der Spule  $1-1'$  ist mit dem Anfange  $12$  der Spule  $12-12'$  verbunden.

Auf die Wickelung der sechs- und vielpoligen Trommelanker wollen wir hier nicht weiter eingehen.

Ist  $z$  die Zahl der wirksamen Leiter an der Oberfläche des Trommel- oder Ringankers  $\psi$  der Kraftlinienfluß, welcher von jedem der Nordpole in den Anker tritt und  $n$  die Umdrehungszahl des Ankers in der Minute, so ist in dem in Fig. 111 und 113 dargestellten Ankern mit Parallelschaltung die im Anker bzw. in jedem der vier Ankerstromzweige induzierte E. M. K.

$$E = \frac{n \cdot \psi \cdot z}{80} \cdot 10^8 \text{ Volt.}$$

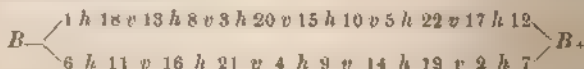
Bei den vierpoligen und mehrpoligen Trommel- und Ringankern können die Ankerleiter bzw. die Ankerspulen auch so verbunden werden, daß nur zwei Ankerstromzweige vorhanden sind, wir erhalten dann eine Ankerwicklung mit Serienschaltung.

Ein Trommelanker enthalte  $z$  wirksame Leiter, welche wir uns in zwei verschiedenen Weisen verbunden denken:

1. bei einem vierpoligen Felde seien die Leiter so verbunden, daß zwei parallel geschaltete Ankerstromzweige entstehen oder
2. bei einem vierpoligen Felde vier parallel geschaltete Ankerstromzweige sich ergeben nach Fig. 111.

Im ersten Falle ist dann die induzierte E. M. K. doppelt so groß wie im zweiten, weil jeder Ankerstromzweig im ersten Falle doppelt so viel wirksame Leiter enthält als im zweiten. Bei der zweiten Wickelung vermag aber der Anker den doppelten Strom zu liefern wie bei der ersten.

In Fig. 114 ist eine vierpolige Trommelwicklung mit Reihenschaltung dargestellt. Auf der Trommel sind 22 wirksame Leiter vorhanden. Der Abstand der beiden Bursten am Umfang des Kollektors gemessen beträgt  $90^\circ$ . Wir haben für die Stellung des Ankers (Fig. 114) die beiden Ankerstromzweige

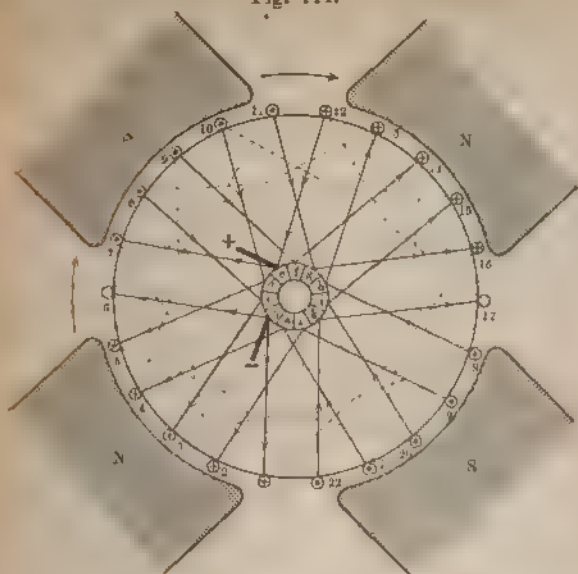


Ebenso sind für jede andere Stellung des Ankers sämtliche wirksamen Leiter zwischen den Bursten in zwei parallel geschalteten Ankerstromzweigen angeordnet. Die Serienschaltung wird meist für höhere Spannungen



1 Volt und mehr) angewandt. Die Dynamos für elektrische Beleuchtung und Bord haben ohne Ausnahme Anker mit Parallelschaltung.

Fig. 114.

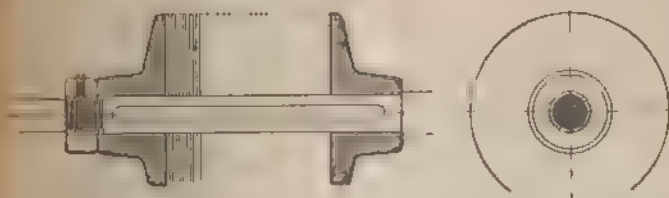


Über andere Ankerwickelungen und über die Theorie der Ankerwickelungen überhaupt ist nachzusehen in E. Arnold, Die Ankerwickelungen und Ankerkonstruktionen der Gleichstrom-Dynamomaschinen. Berlin und München 1901.

**§. 37. Der Ankerkörper und die Konstruktion der Ankerwicklung.** Der Ankerkörper besteht aus der Welle, der Ankerbachse oder dem Ankerstern und dem Ankerkern, der aus Eisenblechen zusammengesetzt wird.

Die Welle wird aus bestem Stahl angefertigt. Die Wellenzapfen sollen, insbesondere bei hohen Tourenzahlen, gehärtet und geschliffen

Fig. 115.



a. Die Zapfenlänge beträgt das 2,5- bis 3,5fache des Zapfendurchmessers. Die Schmierung wird meistens als Ringschmierung ausgeführt. Der Ankerstern oder die Ankerbachse soll die Anker-

bleche zusammenpressen und die Verbindung derselben mit der Welle herstellen.

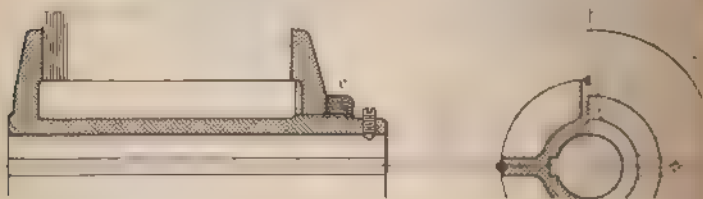
Bei kleinen Trommelankern wählt man häufig die Bohrung der Ankerbleche gleich dem Durchmesser der Welle. In diesem Falle (Fig. 115) steht die Ankerbüchse allein aus den beiden Endscheiben, die aus Bronze oder Eisen hergestellt werden. Ist die Bohrung der Ankerbleche größer

Fig. 116.



der Wellendurchmesser, so muß die Ankerbüchse eingesetzt werden. Man presst hierbei die Bleche durch Schraubenmuttern c, die auf der Ankerwelle sitzen, zusammen (Fig. 116 und Fig. 117). In Fig. 117 haben die Rippen

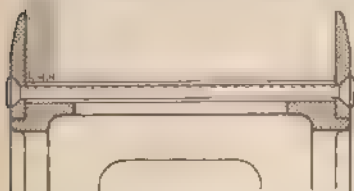
Fig. 117.



des Ankersternes und die Ankerbleche halbkreisförmige Nuten, in welche Rundkeile aus Stahl eingelegt werden, die beim Zusammensetzen zur Führung der Bleche dienen und ein Verschieben derselben verhindern.

Bei größeren Ankern können die Ankerbleche nicht in einem Stück hergestellt werden; in diesem Falle setzt man die einzelnen Scheiben

Fig. 118.

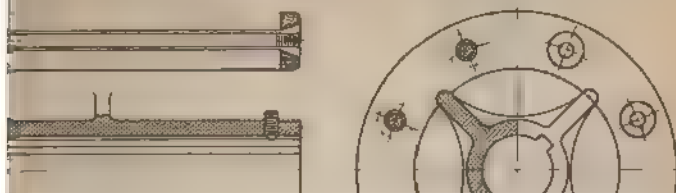


der Ankerbleche, die bei großen Trommelankern stets, bei kleineren wegen der besseren Ausnutzung der Blechtafel empfehlenswert ist, hat der Anker Fig. 118.

Fig. 119 zeigt einen Ankerstern für einen Ringanker, bei welchem die Rippen der Ankerbüchse direkt in ausgestanzte Nuten der Bleche eingreifen

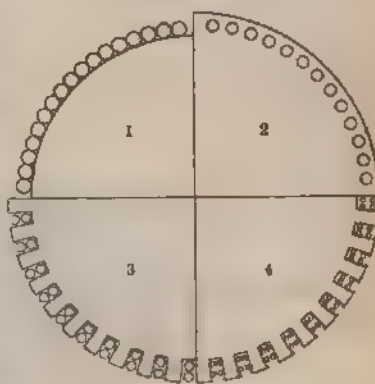
des stehenden magnetischen Feldes im Innern des stromdurchgangankers, das durch einen Ankerstern aus Eisen erheblich verkleinert (vergl. § 45), soll Bronze oder Messingguss für den Ankerstern verwendet werden. Bei grossen Ringankern kann zunächst

Fig. 119.



er Welle sitzende Teil aus Guss Eisen zur Verminderung der Herten angefertigt werden. Auf dem gusseisernen Teil werden dann Bronze aufgesetzt, welche den eigentlichen Ankerkörper tragen. Fig. 120 sind die gebräuchlichen Formen der Ankerbleche für Ringanker dargestellt. Im Quadranten 1 ist die Bewickelung eines Ringankers dargestellt. Zur Verminderung des magnetischen Widerstandes des Anker und Polschuh wird die Bewickelung möglichst niedrig gehalten.

Fig. 120.



Auf die stromdurchflossenen Pole im magnetischen Felde wird ein Halber Zug am Anfang des Ankers der Gleichung (21) ausgerechnet, der ihrer Bewegung entgegen, so müssen bei grosseren Ringankern besondere Treibstützen verwendet werden. Als solche dienen die Anker verlegte Leisten.

Man kann auch die Enden des Ankers mit vorspringenden Leisten versehen und die letzteren als Treibstützen verwenden. Bei kleinen Ringankern ist meist die Reibung

umfänglich genug. Ausserdem werden die Drähte in allen Richtungen quer über die Wickelung gelegte Drahtbänder fest angepresst, um die Wickelung gegen die Wirkung der Centrifugalkraft zu schützen. Ringanker können die Treibstützen fortbleiben, da die Speichen des Ankers die Windungen in ihren Lagen festhalten. Fig. 120, Quadrant 2, zeigt den Lochanker dar; die Bleche haben nahe dem Umfange regelmäßige Löcher, welche zur Aufnahme der Wickelung dienen. In Quadrant 3 kann der Ankerkern sehr nahe an die Polschuhe gebracht werden, wodurch der magnetische Widerstand des Luftzwischenraumes herabgesetzt wird. Jedoch ist der für die Wickelung zur Verfügung stehende Raum überfüllt. Drahtbänder zum Halten der Wickelung fallen fort. Die Induktion in den Spulen und die damit verbundene Neigung zur Überhitzung am Kollektor sprechen sehr gegen die Verwendung der Loch-

Quadrant 3 (Fig. 120) zeigt den Zahnanker, der sehr viel verwendet. Sehr beliebt ist auch die im Quadranten 4 dargestellte Form,

bei welcher die Zähne sich am Umfange verbreitern, wodurch eine wesentliche Verminderung des magnetischen Widerstandes erreicht wird. Daz.

Fig. 121.



Einschieben keilförmiger Leisten aus Isolierstoff (Holz, siehe Fig. 121) kann man die Wicklung befestigen.

Ringanker werden mit wenigen Ausnahmen als glatte Anker hergestellt.

Die mechanische Ausführung der Ankerwicklung weicht namentlich bei dem Trommelanker, erheblich von den in § 33 bis 35 gegebenen Schemata ab, und bei derselben kommt sehr viel an auf die Stromstärke, die durch den Ankerleiter fließt. Für kleinere Stromstärken wählt man Drahtwicklung, für größere Stabwicklung. Zur letzteren kann man schon übergehen, wenn die Stromstärke im Ankerstromzweig 50 Amp. übersteigt. Bei der Drahtwicklung besteht die Spule aus einem Stück Draht oder für größere Stromstärke

Fig. 122.



aus mehreren parallel geschalteten Drahtstücken. Bei der Stabwicklung ist jede Windung aus zwei oder mehreren Teilen zusammengesetzt bzw. zusammengelötet. Das Abbiegen der einzelnen Teile geschieht auf besonderen Schablonen. Nach dem Biegen werden die Teile der Windung isoliert. Durch dieses Verfahren wird die Herstellung der Wicklung erleichtert, die Isolation verbessert und zugleich ein leichteres Auswechseln einzelner Teile ermöglicht, was als weitere Vorteile große Widerstandsfähigkeit und Festigkeit der Wicklung hinzukommen. In Fig. 122 ist ein Anker mit Stabwicklung von Siemens und Halske dargestellt.

Auf die Ausführung der Wicklung können wir hier nicht eingehen, wir verweisen auf das vorzügliche Handbuch von E. Arnold über Ankerwicklungen und Ankerkonstruktionen der Gleichstrommaschinen.

Drachtwicklung kann ebenfalls auf Schablonen ausgeführt werden, die Spulen solche Gestalt erhalten, daß sie ohne Veränderung im Ankerkörper befestigt werden können. Besonders hervorzuheben sei die Wickelung von R. Eickemeyer, bei welcher mittels Schablonen hergestellten Spulen mit den aus Stäben hergestellten gleiche Gestalt haben; für beide Wickelungen sind die Querdurchschnitte der Spulen an den Stirnflächen in solcher Weise in zwei senkrechten Ebenen angeordnet, daß eine Berührung der kreuzenden Drähte nicht vorkommt. Außerhalb der Nuten des Ankers liegen die Spulen frei und sind daher sehr gut ventiliert. Diese Wickelung finden wir nicht bei der gewöhnlichen Drahtwicklung der Trommelanker, bei der die Drähte an den Stirnflächen im Wulst übereinander liegen; derartige Wickelungen werden auch meist nur für kleine Maschinen ausgeführt.

In allen Fällen muß jedoch die Wickelung so ausgeführt sein, daß die einzelnen Ankerspulen gleichen Widerstand und gleiche Selbstinduktion haben; ferner muß das Gewicht der Wickelung am Anker gleichmäßig verteilt sein.

**Abkühlung des Ankers.** Damit die Temperatur des Ankers infolge Erwärmung durch Wirbelströme und Hysteresis, sowie durch die in der Wickelung erzeugte Wärme nicht zu groß wird, soll die abkühlende Oberfläche in einem angemessenen Verhältnisse zur gesamten im Anker erzeugten Wärme stehen. Über die zulässige Erwärmung des Ankers s. S. 109. Auch ist die Temperaturzunahme des Ankers abhängig von der Ventilation des Maschinenraumes. Für die Abkühlung des Ankers ist ferner die Größe der Ankeroberfläche, die Umdrehungszahl und die Benetzung der frei liegenden Teile der Ankeroberfläche von Bedeutung. Meistens wird die Abkühlung des Ankers gefördert, wenn die Luft zwischen den Spulen treten kann. Bisweilen begünstigt man die Abkühlung des Ankers durch besondere Luftkanäle im Ankernern. Zu diesem Zwecke sind in bestimmten Abständen an Stelle der Ankerbleche gewellte Bleche oder Eisenbleche mit aufgenieteten Streifen u. s. w. verwendet.

### 38. Vor- und Nachteile der Ring- und Trommelanker.

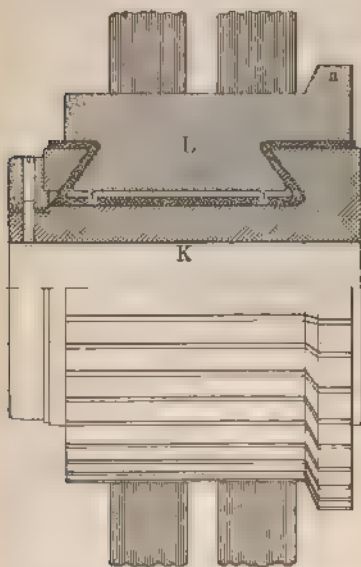
Mein ist nicht anzugeben, welcher von den beiden Ankern den Vorzug verdient; je nach den vorliegenden Zwecken wird bald der eine bald der andere vorteilhafter erscheinen.

Der Ringanker hat zunächst den Vorteil, daß die Spannungsdifferenz zwischen zwei benachbarten Spulen bzw. zwischen den wirklichen Leitern sehr gering ist. Ist  $e$  die Bürstenspannung und hat jeder Ankerstrom  $i$  aus  $n$  Spulen, so ist die Spannung zwischen je zwei aufeinander folgenden  $e/n$ . Wir haben schon darauf hingewiesen, daß zwischen je zwei benachbarten Zonen liegenden Spulen des Trommelankers nahezu die volle Spannung vorhanden ist. Der Ringanker eignet sich somit besser zur Erzeugung hoher Spannungen (für Gleichstrom wohl bis 3000 Volt) als der Trommelanker, welcher meist nur für Spannungen unter 600 Volt konstruiert wird. Durch die Drähte an der Innenseite des Ringankers wird der Widerstand erhöht und bei zu großer Sättigung des Ankernetzes, wo von den Magnetpolen aus durch den Innenraum des Ringankers Kraft-

linien gehen, werden in den auf der inneren Seite des Ankers liegenden Leitern elektromotorische Kräfte induziert, die den in den äußeren Leitern hervorgebrachten entgegen gerichtet sind. Meist muß auch aus praktischen Gründen der Durchmesser des Ringankers verhältnismäßig groß gewählt werden, um alle Drähte im Innern des Ringes unterbringen zu können. Der Wickelungsraum bei der Trommel ist dagegen nicht so beschränkt und bei der Stabwicklung kann man zur Verringerung des Ankerwiderstandes die Querverbindungen an den Stirnflächen größeren Querschnitt geben als die wirksamen Stäbe. Beim Ringanker ist es aus dem beschränkten Raume wegen kaum möglich, die Drähte an der Innenseite des Ankers mit größerem Querschnitt zu wählen. Der Ankerstern des Ringankers muß aus dem stehenden Magnetfeldes wegen aus Bronze bestehen (vergl. S. 81). Im ganzen wird die Wickelung des Trommelankers besser für die Induktion der elektromotorischen Kräfte ausgenutzt als die Wickelung des Ringankers. Das Ausbessern einer Spule des Ringankers ist jedoch sehr viel leichter auszuführen als beim Trommelanker, bei welchem in vielen Fällen nach der Beschädigung einer Spule die ganze Wickelung abgenommen werden muß. Beim Ringanker kann dagegen jede Spule für sich zur Ausbesserung herausgenommen werden.

§ 39. Der Kollektor und die Bürsten. Auf das funkenfreie Arbeiten des Kollektors ist besonderes Gewicht zu legen. Der Kollektor

Fig. 123.



wird beständig abgenutzt und unter ungünstigen Verhältnissen sehr rasch. Bei funkenfreiem Gange und bei richtiger Wahl des Materials der Kollektorlamellen und der Bürsten kann der Kollektor mehrere Jahre dauernd ohne Störung im Betriebe sein. Das Material der Lamellen muß sehr homogen und von gleicher Härte sein. Die Lamellen werden entweder aus stark kupferhaltiger Phosphorbronze gegossen oder aus hartem Profilkupfer ausgesägt. Fig. 123 stellt den Achsausschnitt durch einen Kollektor dar. Die Kollektorlamelle L wird seitlich und von der Kollektorbüchse K durch Glimmer, Pressspan oder Asbest isoliert.

Am besten eignet sich wegen seiner großen Isolationsfähigkeit die weiche Glimmer; derselbe ist auch nicht hygroskopisch und sollte ausschließlich in Kollektoren verwendet werden, die Witterungseinflüssen ausgesetzt sind oder in feuchten Räumen arbeiten. Kollektoren mit Glimmerisolation können auch ohne Beschädigung der Isolation hin und wieder ein wenig



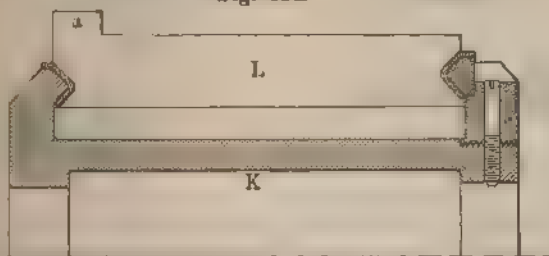
am ölbefeuchteten Lappen geschmiert werden, was zur Erhaltung des Kollektors beiträgt.

In Fig. 124 und 125 sind verschiedene Formen von Kollektorkonstruktionen dargestellt.

In Fig. 124 ist zwischen der Lamelle und der Ankerbüchse genügende Isolation durch Luft vorhanden.

Der Ansatz *a* dient zur Verbindung der Ankerdrähte mit der Lamelle. Entweder geschieht die Verbindung durch Verschraubung oder durch Ein-

Fig. 124.



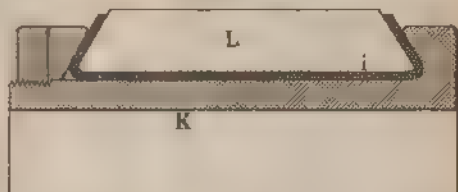
sen. Des besseren Kontaktes wegen gibt man dem Einlöten meistens den Vorzug, beim Verschrauben ist ein Lösen der Drähte zum Zwecke einer Verbesserung leichter ausführbar.

Als Bürsten verwendet man Metallbürsten oder Kohlebürsten.

Metallbürsten bestehen aus Drähten, dünnen Blechen oder aus

Wollgewebe. Für diese ist die Berührungsfläche mit dem Kollektor wenigstens 3 bis 4 qmm pro Amperere betragen; bei Kohlebürsten des größeren Widerstandes wegen 15 bis 20 qmm.

Fig. 125.



Bei allen Maschinen bringt man zur Herstellung eines genügenden Kontaktes zwei oder mehrere Bürsten nebeneinander an, so daß wäh-

Fig. 126.



rend des Betriebes eine Bürste auch behufs Reinigung vorübergehend entfernt werden kann. Die Zahl der nebeneinander liegenden Bürsten richtet sich nach der höchsten Stromstärke, welche die Dynamo liefert.



In Fig. 126 sind Metallbürsten nebst Halter von Siemens und Halske, A.-G., Berlin, dargestellt.

Fig. 127 zeigt einen kurzen und einen langen Bürstenschlüssel.

Fig. 128 stellt eine Kohlebürste von Siemens u. Halske, A.-G., Berlin, dar.

Fig. 128.

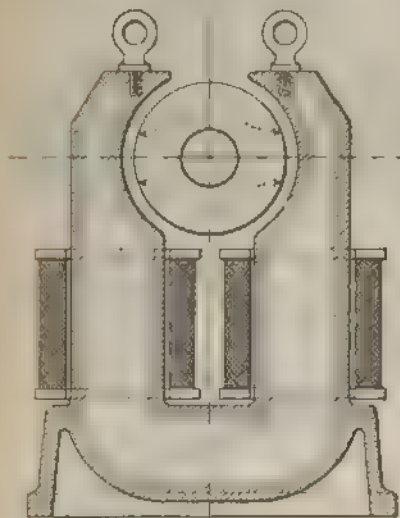
Fig. 127.



Die Bürsten- oder Kohlehalter sind an der Bürstenbrücke befestigt, welche so konstruiert ist, daß alle Bürsten während des Aufhängens gleichzeitig zum Zwecke einer richtigen Einstellung verschoben und dann fest gestellt werden können<sup>1)</sup>.

§ 40. Die Erregung der Gleichstromdynamos. Der Anker kann im Felde eines permanenten Stahlmagneten oder eines Elektromagneten

Fig. 129.



(Fig. 129) rotieren. Maschinen mit permanenten Magneten eignen sich nur für sehr kleine Leistungen und heißen magnetoelektrische Maschinen oder Magnetmaschinen.

Die Verwendung der Stahlmagnete hat den Vorteil, daß die Erregerspulen am Magneten vermindert werden, und der Betrieb von Störungen in denselben damit unabhängig wird. Dagegen liefern Elektromagnete sehr viel stärkere Felder und verdienen deshalb den Vorzug.

Maschinen mit Dauermagneten fallen größer und schwerer aus als solche mit Elektromagneten bei gleicher Leistungsfähigkeit. Dazu kommt, daß der Magnetismus der Dauermagnete allmählich sich verzerrt, überhaupt aber davon Stöße und durch die beim Betriebe

unvermeidlichen Erschütterungen allmählich geschwächt wird (vergl. § 39).

Bei Anwendung der Elektromagnete wird während des Betriebes frische

<sup>1)</sup> Besonders bei Anwendung von Metallbürsten an Dampfmaschinen ist es nötig, die Bürstenbrücke so einzurichten, daß vor dem Ausklappen des Ankers alle Bürsten gleichzeitig abgehoben werden können.

Energieverlust (siehe § 41) in den Magnetspulen eintreten, der bei Anwendung von permanenten Magneten fortfallen würde.

Bei Anwendung von Elektromagneten kann entweder

1. eine besondere Stromquelle (Erregerdynamo, Akkumulator u. s. w.) vorhanden sein, welche den zur Erregung des Magneten (Fig. 129) erforderlichen Strom liefert; wir haben in diesem Falle eine besonders erregte Dynamo oder eine Dynamo mit Erregung durch Fremdstrom. Diese Art der Erregung ist fast bei allen Wechselstromdynamos im Gebrauche (vergl. § 68).

2. Bei den Gleichstromdynamos finden wir in den meisten Fällen Selbsterregung nach einer der drei nachbenannten Methoden.

Fig. 130.

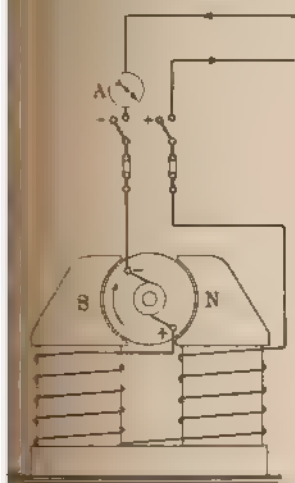


Fig. 131.

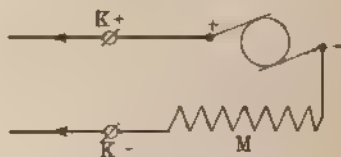
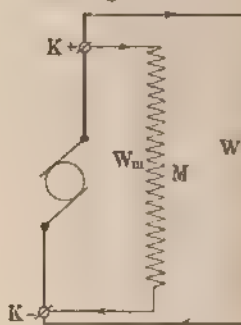


Fig. 132

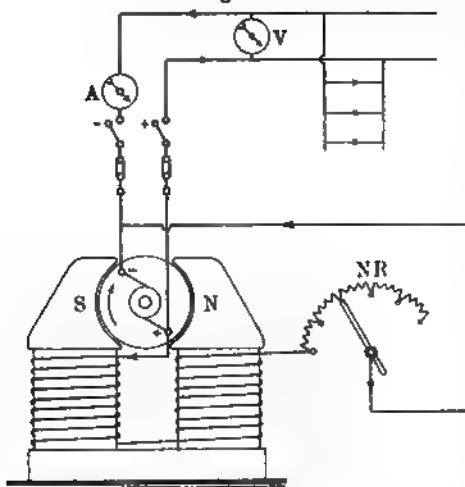


a) Der gesamte vom Anker gelieferte Strom fließt durch die Wicklung des Feldmagneten, Ankerwicklung, Magnetspulen und einer Widerstand sind hintereinander geschaltet (Fig. 130 und 131). Dynamos dieser Art heißen Reihen- oder Hauptstromdynamos.

b) Der aus dem Anker fließende Strom teilt sich an der positiven Klemme  $K_+$  (Fig. 132) in zwei Teile, von denen der größere als Laststrom in den äußeren Stromkreis geht und dort zum Betriebe von Lampen, Motoren u. s. w. dient. Der kleinere Teil, etwa 2 bis 5 Proz. des vom Anker bei voller Belastung gelieferten Stromes, fließt durch die Magnetspulen und dann zur negativen Bürste zurück. Bei diesen Dynamos, die als Nebenschlussdynamos bezeichnet werden, sind die Magnetspulen und der äußere Widerstand parallel geschaltet (Fig. 133).

c) Eine Kombination der unter 2. und 1. besprochenen Erregung haben die Dynamos mit gemischter Bewickelung, die auch Compound- oder Doppelschluss-Maschinen genannt werden.

Fig. 133.



Bei diesen fließt entweder

1. der ganze von dem Anker gelieferte Strom zunächst durch die sogenannte Hauptstromwicklung mit weniger zahlreichen Windungen und sehr geringem Widerstand um den Feldmagneten zur  $+$ -Polklemme  $K+$  (Fig. 134). An dieser findet eine Teilung des Stromes wie bei den Nebenschlussdynamos statt. Die Nebenschlusswicklung ist zwischen den Polklemmen der Dynamo eingeschaltet. Auch hier beträgt die Stromstärke in der Nebenschlusswicklung

nur 2 bis 5 Proz. des vom Anker bei voller Belastung gelieferten Stromes. Oder

2. an der positiven Bürste teilt sich der Strom in die Nebenschlusswicklung und in die Hauptstromwicklung (Fig. 135). Letztere und der äußere Widerstand sind zwischen Bürsten hintereinander geschaltet, und der Nebenschluss

Fig. 134.

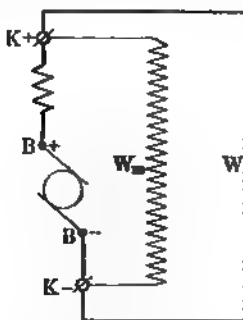
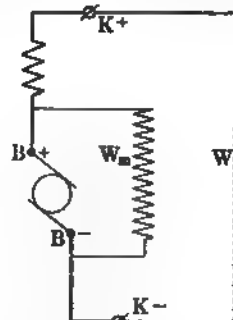


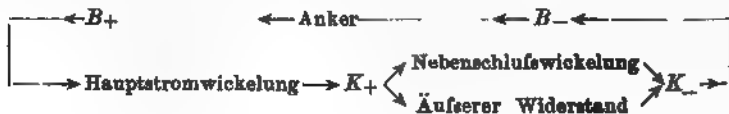
Fig. 135.



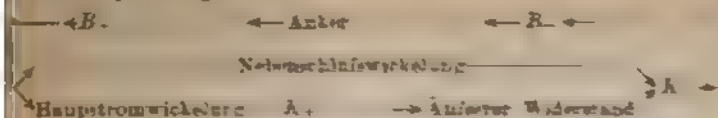
ist beiden parallel angelegt. Während in diesem Falle auf den Nebenschluss die Bürstenspannung wirkt, wirkt im vorigen die Klemmenspannung auf ihn.

Durch folgendes Schema sind die Schaltungen bei den beiden Maschinen dargestellt.

1. Der Nebenschluss ist dem äußeren Widerstande parallel geschaltet:



2. Der Nebenschluß ist der Hauptstromwicklung und dem äußeren Widerstande parallel geschaltet:



Bei der Selbsterregung der Dynamo kommt das dynamoelektrische Prinzip von Siemens (1867) zur Anwendung. Der Kern der Feldmagnete besteht aus Gußeisen, Schmiedeeisen oder meistens aus Stahlguß. Ist die Dynamo außer Betrieb, so ist im Feldmagneten nur eine geringe Menge Magnetismus — der sogenannte remanente Magnetismus — vorhanden.

Jede einmal im Betriebe gewesene Dynamo besitzt meistens eine beträchtliche Menge von remanentem Magnetismus. Bei neuen Dynamos müßte es, einmal durch Frensisieren die Magnete stark zu erregen, nach Unterbrechung des Stromes in den Magnetspulen bleibt das Feld zwischen den Polen so kräftig, daß die Dynamo von selbst sich erregen kann.

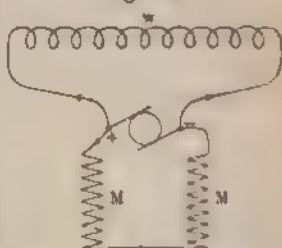
Sobald der Anker in Drehung versetzt wird, entsteht wegen des schwachen Feldes zunächst eine geringe E.M.K., die einen schwachen Strom durch die Magnetspulen treibt. Bei den Hauptstromdynamos ist dabei die äußere Leitung geschlossen, bei den Nebenschlußmaschinen ist der äußere Stromkreis offen, während nur die Magnetspulen eingeschaltet sind. Der anfänglich schwache Strom in den Magnetspulen verstärkt das Magnetfeld, und damit findet eine Steigerung der E.M.K. statt. In dieser Weise wird der Magnetismus der Feldmagnete fortgesetzt verstärkt und damit werden die E.M.K. und der Erregungsstrom gesteigert, bis die Magnete nahezu gesättigt sind. Dann die normale E.M.K. der Dynamo erreicht ist.

Für den elektrischen Betrieb auf Schiffen haben die Hauptstromdynamos große Bedeutung, wir wenden uns daher sogleich zur Beschreibung der Dynamos mit Nebenschlußwicklung.

§ 41. Die Nebenschlußdynamo. Bei dieser Dynamo sind die Magnetspulen  $M$  (Fig. 136) und der äußere Widerstand  $w$  zwischen den Polklemmen bzw. Bürsten parallel geschaltet. Durch diese Anordnung wird das magnetische Feld der Dynamo und damit die E.M.K. derselben in sehr viel geringerem Maße von den Schwankungen und Änderungen des Stromes im äußeren Widerstande abhängig als bei den Hauptstromdynamos.

Die Magnetspulen  $MM$  (Fig. 136) liegen im Nebenschluß zum äußeren Widerstande. Sie bestehen aus vielen (bei mittleren Maschinen meist einigen Tausend) Windungen aus Kupferdraht. Die Magnetspulen haben daher an sich einen Widerstand, der erheblich größer ist als der äußere Widerstand  $w$ . Meistens wird

Fig. 136



auch durch einen zu den Magnetspulen in Serie geschalteten und regulierbaren Widerstand  $B$  (s. Fig. 138) der Widerstand des Nebenschlusses so weit erhöht, daß auf Grund der im § 16 besprochenen Gesetze bei voller Leistung der Maschine nur etwa 2 bis 5 Proz. des vom Anker gelieferten Stromes in den Nebenschluß, und der übrige Teil als Nutzstrom in den äußeren Widerstand fließt, der meist aus parallel geschalteten Lampen, Motoren u. s. w. gebildet wird.

## 1. Verwendung und Verhalten der Nebenschlußdynamos.

Die Nebenschlußdynamos werden meistens für eine bestimmte Betriebsspannung (110 Volt, 220 Volt u. a.) gebaut. Sie eignen sich besonders zur Stromlieferung für parallel geschaltete Glühlampen (siehe Fig. 133), Bogenlampen und Motoren und haben daher in den weitaus meisten elektrischen Centralen Verwendung gefunden. Bei der Parallelschaltung der Lampen werden Hin- und Rückleitung über das ganze mit elektrischer Energie zu versorgende Gebiet nebeneinander hergeführt, und jede Glühlampe bzw. Motor wird an beide Leitungen angeschlossen. Die Wahl des Leitungsquerschnittes und der Leitungsanlage überhaupt ist dabei so getroffen, daß der Spannungsverlust in der Leitung von der Dynamo bis zu irgend einer der parallel geschalteten Glühlampen nicht mehr als 2 bis 3 Proz. der Betriebsspannung ausmacht. Diesen Betrieb mit parallel geschalteten Lampen bzw. Motoren bezeichnen wir als einen Betrieb mit konstanter Spannung.

Besteht der äußere Widerstand aus parallel geschalteten Lampen u. s. w., so ist er um so kleiner, je größer die Zahl der eingeschalteten Lampen ist (vergl. § 16 und Gleichung 16). Mit der Zahl der eingeschalteten Lampen wächst also die Stärke des von der Dynamo zu liefernden Stromes.

Dieses System der Verteilung der elektrischen Energie hat große Ähnlichkeit mit einem Druckrohrnetz mit zahlreichen Anschlüssen von hydraulischen Motoren. Die Abweichung besteht nur darin, daß der Natur des elektrischen Stromes entsprechend jede Verbrauchsstelle elektrischer Energie nicht allein an eine Zuleitung des Stromes, sondern auch an eine gleich beschaffene Rückleitung angeschlossen ist.

In solchen Betrieben mit konstanter Spannung eignet sich die Nebenschlußdynamo zur Stromlieferung, weil bei konstanter Tourenzahl des Ankers die Polklemmenspannung nur wenig mit der Belastung oder mit der Stärke des Nutzstromes abnimmt.

Vermehrt man die Zahl der parallel geschalteten Lampen, so wird durch den äußeren Widerstand der Ausgleich der Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen erleichtert, d. h. die Stromstärke in der äußeren Leitung nimmt zu, während gleichzeitig eine geringe Abnahme des Stromes im Nebenschluß erfolgt (§ 16). Diese Abnahme des Stromes in den Magnetspulen hat aber eine Abnahme des Kraftlinienflusses  $\Phi$  [vergl. Formel (29)] zur Folge.

Bei zunehmender Stromentnahme wird die E.M.K. der Nebenschlussdynamo und damit auch die Klemmenspannung derselben etwas sinken. Diese Abnahme der E.M.K. bzw. der Klemmenspannung wird dadurch beseitigt, daß man im Nebenschluss einen regulierbaren Widerstand — Nebenschlussregulator  $R$  (Fig. 138) — mit den Magnetspulen hintereinander schaltet. Der Widerstand des Nebenschlusses besteht also aus der Summe der Widerstände von Magnetspulen und Nebenschlussregulator. Nimmt die Klemmenspannung der Dynamo infolge einer Steigerung des Nutzstromes ab, so wird am Nebenschlussregulator so viel Widerstand eingeschaltet, daß der Strom in den Magnetspulen so weit anwächst, bis die Polklemmenspannung ihren normalen Betrag wieder erreicht.

Werden dagegen im Netze Lampen ausgeschaltet, so nimmt der äußere Widerstand zu und der Ausgleich der Polklemmenspannung auf äußeren Widerstände wird erschwert; die Stromstärke im Nebenschluss und damit auch die E.M.K. nehmen zu. Die Erhöhung der E.M.K. und der Klemmenspannung wird durch Vermehrung des im Nebenschlussregulator eingeschalteten Widerstandes beseitigt.

Diese Änderungen des Nutzstromes haben immerhin geringe Änderungen des Stromes in den Magnetspulen zur Folge und damit auch kleine Änderungen der E.M.K., wobei wir die Tourenzahl des Ankers konstant voraussetzen wollen [siehe Gleichung (29)]. Der Spannungsverlust im Anker, d. h. die Differenz zwischen der E.M.K. und der Polklemmenspannung ist um so größer, je mehr Strom der Anker liefert. Wenn nun schon durch Steigerung des Nutzstromes die E.M.K. der Nebenschlussdynamo etwas sinkt, so muß dieses in noch stärkerem Grade mit der Klemmenspannung der Fall sein.

Ein weiterer Grund für die Abnahme der E.M.K. liegt darin, daß der stromdurchflossene Anker selbst ein Feld (Ankerfeld, vergl. § 45) hervorbringt, welches das von den Magneten herrührende schwächt, und zwar um so mehr, je größer die Stromstärke in der Ankerwicklung ist.

Im Nachfolgenden wollen wir an einem speziellen Beispiel das Verhalten der Nebenschlussdynamo zeigen.

Die normale Leistung einer Nebenschlussdynamo bei 900 Umdrehungen des Ankers in der Minute beträgt 16 500 Watt = 16,5 Kilowatt, während die Polklemmenspannung 110 Volt ist. Bei voller Belastung kann also diese Maschine den Strom

16 500	
110	150 Amp. liefern.

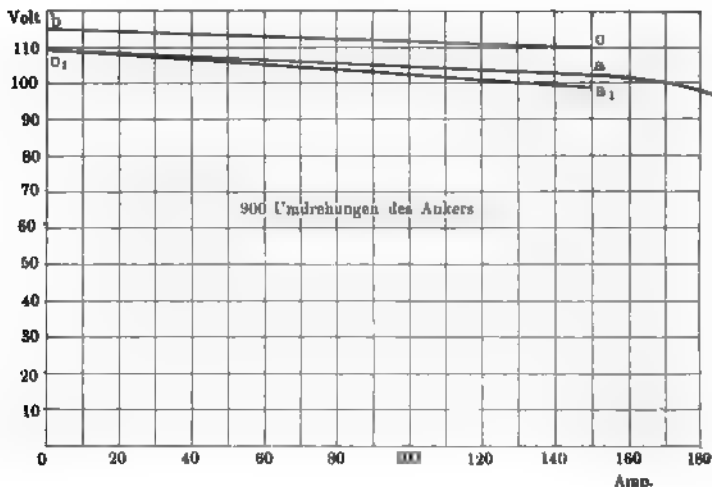
Der warme Anker hat bei mehrstündigem Betriebe den Widerstand 0,03  $\Omega$

1. Laßt die Dynamo leer, indem die äußere Leitung angeschlossen wird und macht der Anker 900 Umdrehungen in der Minute, während die Maschine nur den Strom 5 Amp. für die Magnetspulen liefert, so ist die Klemmenspannung 110 Volt. Schaltet man jetzt die äußere Leitung ein und vermehrt man allmählich die Zahl der Lampen und damit die Stromstärke bis auf 150 Amp., so sinkt die Klemmenspannung längs der Getaden (Fig. 137) gleichmäßig auf den Betrag 102 Volt. Dabei bleibt die

Tourenzahl des Ankers unverändert = 900 pro Min. und durch den Nebenschlußregulator wird der Strom in den Magnetspulen auf 5 Amp. gehalten. Die Abnahme der Klemmenspannung beträgt also 8 Volt, d. h. 7,27 Proz. der normalen Klemmenspannung.

2. Erhöht man jetzt den Strom in den Magnetspulen auf 5,7 Amp., so steigt bei 900 Umdrehungen pro Minute und bei 150 Amp. in der äußeren Leitung die Klemmenspannung wieder auf 110 Volt, d. h. die Leistung der Maschine ist durch den Punkt  $o$ , Fig. 137, dargestellt. Schaltet man dann

Fig. 137.



allmählich die Lampen in der äußeren Leitung aus, so steigt die Klemmenspannung längs  $ob$  an und erreicht den Betrag 110 Volt, wenn der Nutzstrom gleich Null geworden ist und der Anker nur den Strom 5,7 Amp. für die Magnetspulen gibt. Dabei soll auch hier die Stromstärke in den Magnetspulen konstant auf 5,7 Amp. gehalten werden.

3. Läßt man wie unter 1. die Maschine bei abgeschalteter äußerer Leitung und 5 Amp. Erregungsstrom leer laufen und belastet man die Maschine allmählich bis zu 150 Amp., während der Nebenschlußregulator nicht zur Regulierung des Stromes gebraucht wird, so sinkt die Klemmenspannung bei 900 Umdrehungen des Ankers auf 99,8 Volt längs der Geraden  $o_1a_1$ , d. h. die Abnahme der Klemmenspannung beträgt jetzt 10,2 Volt, d. h. 9,27 Proz. der normalen Klemmenspannung.

Dieses Beispiel ist einer bestimmten Dynamo entnommen, ähnliche Verhältnisse zeigen sich bei allen modernen Nebenschlußmaschinen. Das Beispiel lehrt, daß bei konstanter Tourenzahl des Ankers die Polklemmenspannung der Nebenschlußdynamo langsam mit der Belastung abnimmt. Diese Abnahme der Klemmenspannung kann, wie die Zunahme derselben bei Entlastung, durch Regulieren des Nebenschlußwiderstandes beseitigt werden.

Wird die Stromstärke im Falle 1. noch über die normale Leistung von 150 Amp. hinaus gesteigert, so zeigt sich ein stärkerer Abfall der Klemmenspannung, wie dies auch in Fig. 137 angedeutet ist.

Die Linien  $o_1a$ ,  $o_1a_1$  u. s. w. (Fig. 137) geben bei konstanter Tourenzahl des Ankers die Beziehung zwischen Stromstärke und Polklemmen-



spannung. Für jeden Betrag des Stromes läßt sich in den drei genannten Fällen sogleich aus dem Diagramm die Nutzleistung der Maschine angeben. Die Linien, Fig. 187, haben also eine ähnliche Bedeutung für die Dynamomaschine wie das Indikatordiagramm für die Dampfmaschine, und sie werden als Charakteristiken bezeichnet.

Die Nebenschlussdynamo wird meistens für eine bestimmte Polklemmenspannung (65, 110, 220, 440 Volt u. a.) gebaut. Der von dem Anker für den äußeren Stromkreis gelieferte Strom kann theoretisch beliebig hoch gesteigert werden. Dabei würde freilich in gleichem Maße mit der Ankerstromstärke auch der Spannungsverlust im Anker und damit die Differenz zwischen E. M. K. und Polklemmenspannung wachsen. In Rücksicht auf diesen Spannungsverlust, insbesondere aber auf die Erwärmung der Ankerdrähte, ist auch für jede Dynamo eine bestimmte Stromstärke vorgeschrieben, die im Betriebe nur ausnahmsweise und nie dauernd sehr weit überschritten werden darf. Wird dem Anker ein Strom entnommen, dessen Stärke die vorgeschriebene Grenze überschreitet, so erreicht auch das vom Anker herrührende Magnetfeld eine Stärke, die erheblich das Feld der Magnete abschwächt und damit zur Verminderung der E. M. K. beiträgt (vergl. § 45).

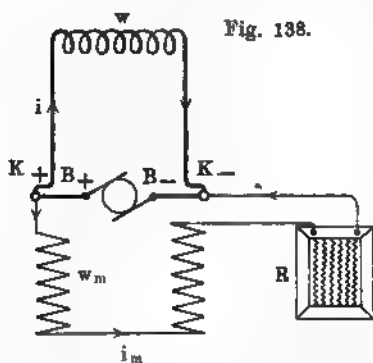
Werden die von den Polklemmen der Nebenschlussdynamo ausgehenden Leitungen „kurz geschlossen“, d. h. durch einen fast widerstandslosen Leiter miteinander verbunden, so sinkt die Stromstärke  $i_m$  im Nebenschluss auf einen sehr geringen Betrag, so daß die E. M. K. fast auf Null fällt, und damit die Dynamo also überhaupt stromlos wird. Immerhin ist ein solcher während des Betriebes eintretender Kurzschluss nicht ungefährlich für die Maschine wegen der sehr starken Funkenbildung am Kollektor.

Da die Magnetspulen der Nebenschlussdynamos eine sehr große Zahl Windungen enthalten, so ist die Selbstinduktion in ihnen sehr beträchtlich (siehe § 30). Die Selbstinduktion wirkt plötzlichen Änderungen des Stromes in den Magnetspulen entgegen und sucht also den magnetischen Kraftlinienfluß im Anker konstant zu halten, wenn durch Änderung der Tourenzahl u. s. w. die E. M. K. der Dynamo sich verändert oder wenn durch Änderung der Belastung die Stromverteilung in der Dynamo verändert wird. Die in diesen Fällen hervorgerufenen Änderungen des Stromes in den Magnetspulen treten also nicht plötzlich, sondern infolge der Selbstinduktion allmählich auf. Würde man die Magnetspulen einer Nebenschlussdynamo, die leer oder unter Belastung läuft, ohne weiteres ausschalten, so entsteht meist ein sehr intensiver Öffnungsfunken, auch kann infolge der hohen Selbstinduktion die Isolation der Wicklung durchgeschlagen werden. Das Ausschalten des Nebenschlusses muß also geschehen, nachdem die Stromstärke möglichst verringert ist, was mit dem Nebenschlussregulator geschieht. Am besten ist es jedoch, den Öffnungsfunken

ganz durch den in § 128 erwähnten Anschluß des Nebenschlußregulators zu vermeiden.

## 2. Stromverhältnisse und Energiegleichung für die Nebenschlußdynamo.

Die Bürsten der Nebenschlußdynamo (Fig. 138) sind mit den Polklemmen durch starke Kabel oder Kupferstäbe verbunden, deren Wider-



stand so gering ist, daß die Bürstenspannung  $E_p$  praktisch genommen gleich der Polklemmenspannung  $E_p$  ist.  $w$  stelle den äußeren Widerstand dar, der also in vielen Fällen aus parallel geschalteten Nutzwiderständen (Glühlampen, Bogenlampen, Motoren, Heizkörper u. s. w.) besteht, wozu noch der Widerstand der Leitungen aus Kupfer hinzukommt.  $i$  sei der Strom im äußeren Widerstande, d. h. die Nutzstromstärke, und  $w_m$  der Widerstand des

Nebenschlusses, d. h. Magnetspulen + Regulierwiderstand  $R$ . Für den Erregungsstrom  $i_m$  haben wir

$$(30) \quad i_m = \frac{E_p}{w_m}.$$

Zwischen den Polklemmen sind Nebenschluß und äußerer Widerstand  $w$  parallel geschaltet; der gesamte Widerstand zwischen den Polklemmen ist nach § 16, Beispiel 2 also  $W = \frac{w \cdot w_m}{w + w_m}$ . Die im Anker induzierte E.M.K.  $= E$  ist größer als die Polklemmenspannung, und zwar um den Spannungsverlust im Anker, dessen Widerstand mit  $w_a$  bezeichnet werden soll. Der vom Anker gelieferte Strom ist  $i_a = i + i_m$ . Um diesen durch den Anker zu treiben, ist nach der Gleichung (9) die Spannung  $i_a \cdot w_a$  erforderlich. Dieses Produkt stellt den Spannungsverlust im Anker dar und folglich ist

$$(31) \quad E = E_p + i_a \cdot w_a.$$

Der Ankerwiderstand der mittleren und großen Dynamos ist sehr klein, so daß  $E$  und  $E_p$  sich nur um einige Volt voneinander unterscheiden. Bei Leerlauf, wo  $i = 0$  ist und die Maschine nur den zur Erregung erforderlichen Strom  $i_m$  liefert, sind  $E$  und  $E_p$  praktisch einander gleich. Zur Verfügung steht uns nur  $E_p$  als Nutzs Spannung, welche direkt mit einem Voltmeter gemessen werden kann, während die E.M.K. nach Gleichung (31) berechnet wird.

Nach dem Ohmschen Gesetze haben wir

$$(2) \quad E = i_a \left( w_a + \frac{w \cdot w_m}{w + w_m} \right).$$

Die Nutzleistung  $A_n$  der Dynamo ist durch das Produkt aus der Klemmenspannung und der Nutzstromstärke  $i$  gegeben.

$$(3) \quad A_n = E_p \cdot i \text{ Watt.}$$

In der Nebenschlußdynamo, wie in allen anderen Gleichstromdynamos, treten folgende Verluste auf.

1. Der Energieverlust in den Erregerspulen  $= i_m^2 \cdot w_m = E_p \cdot i_m$  Watt. Diese Energiemenge wird pro Sekunde in Wärme (vergl. § 17) verwandelt.

2. Der Energieverlust im Anker  $= i_a^2 \cdot w_a$  Watt. Diese Energiemenge wird im Anker ebenfalls in Wärme verwandelt, wodurch die Temperatur des Ankers im Laufe des Betriebes bis zu einer bestimmten Grenze (vergl. § 109) ansteigt.

3. Verluste durch Wirbelströme. Nicht allein in der Ankerwicklung entstehen elektromotorische Kräfte und elektrische Ströme, sondern überhaupt in allen im Magnetfelde sich bewegenden Metallmassen (vergl. § 31).

Zur Beschränkung der Wirbelströme wird der Anker aus vielen senkrecht zur Welle gestellten und voneinander durch Papier isolierten Eisenblechen zusammengesetzt.

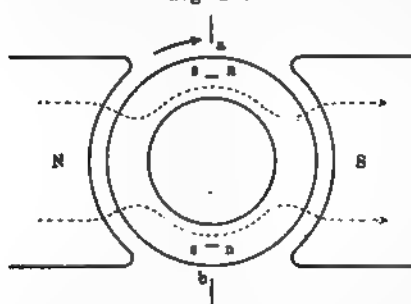
Bei der Drehung des Ankers werden auch im Eisen elektromotorische Kräfte induziert, die, wie in den Leitern auf der Oberfläche, in der zur Welle tangentialen Richtung wirken. Den induzierten Strömen im Ankereisen, welche so im allgemeinen der Ankerachse parallel laufen, wird durch die Isolation der Ankerbleche der Weg abgeschnitten; im massiven Anker würden die induzierten Ströme sehr geringen Widerstand finden und daher zu einem erheblichen Energieverlust Veranlassung geben (vergl. § 33). Um auch bei der Bewickelung des Ankers die Wirbelströme zu vermeiden, die besonders bei Ankerleitern aus dicken und breiten Kupferribben eintreten würden, ersetzt man den dicken Leiter durch mehrere dünnere und parallel gelegene Leiter, die auch den Vorzug haben, daß sie leichter zu wickeln sind.

4. Verluste durch Hysteresis. Rotiert der Anker zwischen zwei Polen, so werden seine beiden Hälften abwechselnd nord- und süd magnetisch; während jeder Umdrehung findet ein doppelter Wechsel der Pole des Ankers statt (vergl. § 4). Bei der Rotation des Ankers findet eine fortgesetzte Umlagerung der Molekularmagnete statt, wodurch ein Aufwand von Arbeit verursacht wird (vergl. § 24).

Während der Drehung des Ankers im magnetischen Felde der Pole wird jeder Teil des Ankers fortwährend ummagnetisiert. Die Molekularmagnete des Ankers haben in allen Lagen denselben das Bestreben, sich in die Richtung der magnetischen Kraftlinien einzustellen. Betrachten wir einen Molekularmagneten in der neutralen Zone bei  $a$  (Fig. 139), der durch den Kraft

linienfluß gerichtet ist und dessen Südpol dort liegt, wo die Kraftlinien eintreten. Ist das Teilchen nach *b* gekommen, so hat sich der Molekularmagnet um seinen

Fig. 139.



Mittelpunkt um  $180^\circ$  gedreht, damit an seinem Südpole die Kraftlinien eintreten. Ist das Teilchen wieder bei *a* angekommen, so hat sich dasselbe nochmals um  $180^\circ$  gedreht und der ursprüngliche Zustand der Magnetisierung an jeder Stelle des Ringankers ist wieder erreicht. Die Magnetisierung des Ankers hat einen „Kreisprozeß“ durchgemacht, von dem schon in § 24 die Rede gewesen ist. Zur Ausführung dieses Kreisprozesses ist ein Aufwand von Arbeit erforderlich. Da die Anker der elektrischen Maschinen aus

bestem und weichstem Schmiedeeisen hergestellt werden, so ist der zum Umagnetisieren des Ankers erforderliche Arbeitsaufwand immerhin nur gering.

5. Verluste durch Lagerzapfenreibung, Bürstenreibung und Luftwiderstand. Diese Verluste sind rein mechanischer Natur. Unter ihnen ist der weitaus bedeutendste der durch Lagerreibung.

Außer diesen Verlusten, die in allen Dynamos auftreten, können auch solche vorkommen, die auf Fehler in der Konstruktion und Ausführung zurückzuführen sind. Dahin gehören:

- a) Ungenügende Isolation oder Isolationsfehler in der Bewickelung.
- b) Magnetischer Kurzschluß bzw. Ableitung der Kraftlinien durch etwa den Polen benachbarte Eisenmassen.
- c) Verluste, die durch zu heftige oder übermäßige Funkenbildung am Kollektor auftreten.

Die Summe der unter 3. bis 5. genannten Verluste wollen wir mit  $L$  bezeichnen.

Wird dann von der Betriebsmaschine auf die Dynamo durch den Riemen oder bei direkter Kuppelung die Energie  $A$  Watt übertragen, so ergibt sich nach dem Satze von der Erhaltung der Energie

$$(34) \quad A = A_n + i_a^2 w_a + E_p \cdot i_m + L.$$

Diese Gleichung soll als Energiengleichung bezeichnet werden.

$\frac{A}{736}$  ist die von der Betriebsmaschine auf die Dynamo übertragene Leistung in P.S. Der totale Wirkungsgrad  $\eta$  ist gleich dem Verhältnis  $A_n : A$ .

Moderne Dynamos von

	100	50	10	2	Kilowatt (K.W.) Nutzleistung
haben etwa $\eta =$	0,89	0,88	0,85	0,8	

d. h. bei einer Dynamo von 10 K.W. Nutzleistung erhält man pro P.S. der Antriebsleistung  $0,85 \cdot 736 = 625$  Watt. Dynamos von 100 K.W. Nutzleistung

## Kompound- oder Fließstromdynamomas.

ein pro 1 P.S. Antrieb auf 75 Umdrehungen pro Minute und ein 1 P.S. Antrieb 400 Watt benötigt.

Spezielles Beispiel: Eine Fließstromdynamomas mit 100 Umdrehungen pro Minute und einer Spannung  $E_p = 120$  Volt mit dem Widerstand  $R = 0,1$  Ohm und des betriebserwarteten Stromes  $I = 2,5$  Amp. Die zum Antrieb der Maschine erforderliche Leistung ist 1 P.S.

Für die E.M.F. der Maschine erhalten wir

$$E = 120 + 2,5 \cdot 0,1 = 120,25 \text{ Volt.}$$

Der Widerstand des Nebenschlusses ist  $R_n = 10$  Ohm.

Die Nutzleistung ist  $P_n = 120 \cdot 2,5 = 300$  Watt. Der Widerstand des Anker beträgt

$$R_a = 0,01 \cdot 1,349 = 0,01349 \text{ Ohm.}$$

Der Energieverlust im Nebenschluss ist

$$E_p \cdot I_n = 120 \cdot 1,2 = 144 \text{ Watt.}$$

Der totale Wirkungsgrad ist

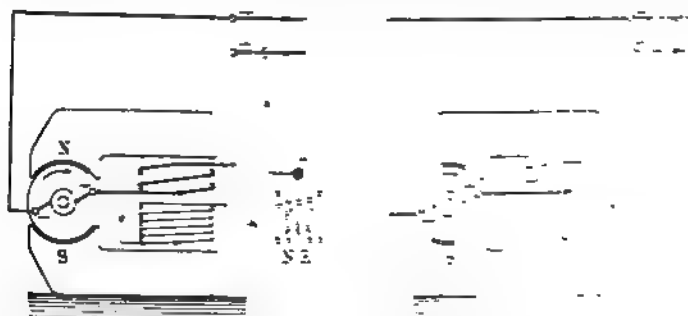
$$\eta = \frac{P_n}{P_n + P_{R_n} + P_{R_a}} = \frac{300}{300 + 144 + 0,4} = 0,675.$$

Die mit  $I$  bezeichneten Werte betragen

$$I = 2,536 \text{ Amp.}$$

§ 42. Die Compound- oder Fließstromdynamomas (Compounddynamomas mit gemischter Bewickelung oder Compounddynamomas). Die Magnetscheibe ist in Fig. 140 dargestellt.

Fig. 140.



Die doppelte Bewickelung und zwar die Hauptstromwicklung und die Nebenschlusswicklung, welche in gleichem Sinne den Magneten umfließen. Die Nebenschlusswicklung besteht aus sehr vielen Windungen und hat großen Widerstand im Vergleich zur Hauptstromwicklung, die wenig Windungen eines dicken Kupferleiters enthält. Bei den Compounddynamomas ist die Nebenschlusswicklung meist über der Hauptstromwicklung ausgeführt, während in Fig. 140 und 141 das Gegenteil wegen der beiden Bewickelungen nebeneinander auf dem Anker gezeichnet sind. Nach § 41 würde die Nebenschlusswicklung kleiner, Elektrotechnik.

allein bei steigender Stromstärke im äußeren Stromkreise einen geringen Abfall der Klemmenspannung geben; dagegen wird die Hauptstromwicklung, wenn sie allein wirken würde, eine Steigerung der Klemmenspannung veranlassen. Sind die Windungszahlen der Hauptstrom- und Nebenschlußwicklung im richtigen Verhältnis gewählt, so bleibt bei konstanter Umdrehungszahl des Ankers die Klemmenspannung ohne jede Regulierung fast konstant.

Ist die Wirkung der Hauptstromwicklung überwiegend, so steigt die Klemmenspannung mit wachsender Stromstärke im äußeren Widerstand und die Dynamo heisst dann überkomponiert. Wenn dagegen die Wirkung der Nebenschlußwicklung überwiegt, so nimmt die Klemmenspannung bei wachsender Belastung der Maschine ab und die Dynamo ist unterkomponiert.

Die Komponddynamo dient wie die Nebenschlußdynamo zur Stromlieferung bei konstanter Spannung, also für den Betrieb parallel geschalteter Lampen oder Elektromotoren. Sie findet besonders Anwendung in kleineren Beleuchtungsanlagen, wo entweder eine ständige Beaufsichtigung wegen der damit verbundenen Kosten unterbleiben muß oder das Bedienungspersonal ungeübt ist. Als Generatoren in Straßenbahncentralen finden besonders die Komponddynamos Verwendung, weil je nach der Zahl und dem Stromverbrauch der in Betrieb gesetzten Motorwagen die der Maschine entnommene Stromstärke stark wechselt, wobei doch die Netzspannung möglichst konstant sein soll. Ebenso empfiehlt sich an Bord von Schiffen, wo zahlreiche Elektromotoren mit intermittierendem Betriebe vorhanden sind, die Aufstellung einer Doppelschlusmaschine, weil der Wechsel der Stromstärke so rasch ist, daß die Regulierung der Spannung von Hand nicht erfolgen kann.

Selbst wenn auch die Nebenschlußdynamos mit einem automatisch regulierenden Nebenschlußwiderstand versehen werden, wie dies häufig bei Anlagen an Land geschieht, so sind sie doch weniger für rasch wechselnde Stromlieferung geeignet als die Komponddynamos, weil der automatische Regulator nicht den oft sehr schnellen Änderungen des Stromes bei Motorbetrieb folgen kann.

Infolge der Erwärmung des Ankers und der Magnetspulen (vergl. S. 24) sinkt die Spannung unter ihren Anfangswert. Während des Betriebes nimmt die Temperatur des Ankers und der Erregungsspulen langsam bei einem bestimmten Endwerte (vergl. § 17) zu. Man legt daher in der Nebenschluß einen regulierbaren Widerstand, der unter Beobachtung des Spannungsmessers so eingestellt wird, daß die Polklemmenspannung konstant bleibt.

Über die Verluste in den Doppelschlusmaschinen gilt das in den Nebenschlußdynamos Besprochene, wobei noch der Energieverlust in der Hauptstromwicklung des Feldmagneten zu berücksichtigen ist.

Um einen Einblick in die Strom- und Energieverteilung in den motorischen Komponddynamos zu geben, seien folgende Beispiele mitgeteilt:

1. Eine Doppelschlusmaschine gibt die Polklemmenspannung 110 Volt und liefert bei voller Belastung die Netzstromstärke  $i = 60$  Amp. Der Widerstand des Nebenschlusses ist  $r_m = 40 \Omega$ , der der Hauptstrom-

Widerstand  $w_a = 0,01 \Omega$  und der Widerstand des Ankers  $w_n = 0,08 \Omega$ . Die Widerstände haben den angegebenen Betrag nach einem mehrstündigen Betriebe. Die Nebenschlußwicklung ist dem äußeren Widerstande parallel geschaltet (vergl. Fig. 141). Die Stromstärke im Nebenschluß ist  $i_m = \frac{120}{40} = 3 \text{ Amp.}$  und damit ist der aus dem Anker durch die Hauptstromwicklung fließende Strom  $i_a = 60 + 3 = 63 \text{ Amp.}$

Der Energieverlust durch Stromwärme in der Nebenschlußwicklung ist  $i_m^2 \cdot w_m = 360 \text{ Watt, d. h. 5 Proz. der Nutzleistung.}$

Der Energieverlust in der Ankerwicklung ist  $i_a^2 \cdot w_a = 317,5 \text{ Watt, d. h. 4,4 Proz. der Nutzleistung.}$

Der Energieverlust in der Hauptstromwicklung  $= i_a^2 \cdot w_d = 39,7 \text{ Watt, d. h. 0,55 Proz. der Nutzleistung.}$

Die Bürstenspannung ist  $E_b = E + i_a \cdot w_d = 120,8 \text{ Volt, dagegen die E. M. K. } - E = E_p + i_a (w_d + w_n) = 125,67 \text{ Volt.}$

Wäre der totale Wirkungsgrad der Dynamo  $= 0,85$ , so würden zum Antriebe derselben  $\frac{A_n}{\eta} \text{ Watt} = \frac{7200}{0,85 \cdot 736} \text{ P.S.} = 11,5 \text{ P.S.}$  erforderlich sein.

Unter Anwendung der früher gebrauchten Bezeichnung ergibt sich die Energiegleichung

$$A = A_n + i_a^2 (w_d + w_n) + i_m^2 \cdot w_m + L.$$

Im vorliegenden Falle wäre  $L = 563 \text{ Watt.}$

2. Eine Doppenschlußmaschine gibt bei 100 Volt Polklemmenspannung und voller Belastung den Nutzstrom 120 Amp. Nach mehrstündigem Betriebe ist der Widerstand der Nebenschlußwicklung  $w_m = 25,8 \Omega$ , der des Ankers  $w_n = 0,042 \Omega$  und der der Hauptstromwicklung  $w_d = 0,008 \Omega$ . Bei dieser Maschine ist die Nebenschlußwicklung zwischen den Bürsten eingeschaltet (vergl. Fig. 140).

Die Bürstenspannung ist  $E_b = E_p + i w_d = 101 \text{ Volt.}$  Die Stromstärke in der Nebenschlußwicklung ist  $i_m = \frac{101}{25,8} = 3,94 \text{ Amp.}$  Die Stromstärke im Anker  $= 123,9 \text{ Amp.}$

Der Energieverlust in der Ankerwicklung ist  $123,9^2 \cdot 0,042 = 652,2 \text{ Watt.}$

" " " " Nebenschlußwicklung ist  $3,94 \cdot 101 = 398 \text{ "}$

" " " " Hauptstromwicklung ist  $120^2 \cdot 0,008 = 115,2 \text{ W.}$

Die Nutzleistung der Maschine ist  $A_n = 100 \cdot 120 = 12 \text{ kW.}$

Würde die bei voller Belastung von der Betriebsmaschine auf die Dynamo übertragene Leistung  $A = 19,5 \text{ P.S.}$  sein, so wäre der totale Wirkungsgrad  $= 0,836$ .  $L = 1194 \text{ Watt.}$

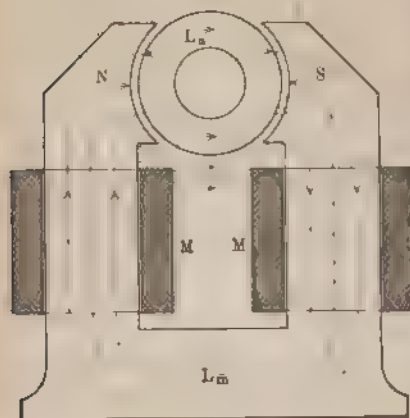
§ 43. Der Feldmagnet und der magnetische Kreis der Dynamo. Eine sehr gebräuchliche Form des Feldmagneten, der sogenannte Hufeisentypus, ist bereits in Fig. 62 dargestellt. Wie schon in § 23 hervorgehoben ist, wächst die Stärke des magnetischen Feldes im Luftzwischenraume mit der magnetomotorischen Kraft der Magnetspulen  $M$ , und sie ist um so größer, je kleiner der magnetische Widerstand des Kreises ist. (Fig. 142.)

Um den letzteren möglichst klein zu halten, werden die Kerne der Spulen mit dem Fußgestell meistens aus einem Stück hergestellt. Selbst bei der saubersten Bearbeitung der Berührungsfächen zweier Teile, wie



des Kernes mit dem Polschuh, die durch Verschraubungen zusammengehalten werden, wird der magnetische Widerstand merklich erhöht. Man gibt überhaupt dem Feldmagneten eine kurze und gedrungene Form. Da der Luftraum zwischen Anker und Polschuh erheblichen magnetischen Widerstand bietet, so wählt man den am Ankerrumfang

Fig. 142.



gemessenen Querschnitt des Luftzwischenraumes möglichst groß. Die gegenüberliegenden Ecken der Polschuhe müssen dabei genügenden Abstand haben, damit nicht der Übergang der Kraftlinien außerhalb des Ankers, die sogenannte Streuung, begünstigt wird.

Die magnetische Permeabilität des Gufseisens ist weit geringer, als die der übrigen Eisensorten (vergl. § 24). Flusseisen wird bei derselben erregenden Kraft fast ebenso stark magnetisiert wie Schmiedeeisen. Dynamos mit

Feldmagneten aus Gufseisen fallen schwer aus und erfordern Magnetspulen mit großem Kupfergewicht. In allen Fällen, wo es auf geringes Gewicht und geringen Raumbedarf für die Dynamos und Elektromotoren ankommt, wie bei den elektrischen Maschinen an Bord, bei den Motoren für Strassenbahnwagen u. s. w., verwendet man fast ausschließlich Stahlguß-Magnetgestelle, die bei halbem Querschnitt und Gewicht magnetisch dasselbe leisten wie die gufseisernen.

In vielen Fällen wählt man auch die Grundplatte, welche zugleich die Magnetkerne verbindende Joch bildet, aus Gufseisen und verspannt sie schon im Guß damit die aus Schmiedeeisen oder Stahlguß hergestellten Kerne der Feldmagnete. Bei dieser Anordnung erhalten die Kerne verhältnismäßig geringen Querschnitt, und das Kupfergewicht der Magnetspulen ist klein. Bei mehrpoligen Maschinen wählt man auch den äußeren Anker aus Gufseisen, während die die Magnetspulen tragenden Polstücke mit den Polschuhen aus Stahlguß hergestellt werden.

Bei der Wahl der Magnetform ist zu beachten, daß die Magnetspulen bequem aufgebracht werden können, und daß der Kraftlinienweg einfach und kurz ist. Die Bewickelung der Magnete wird in Spulen aus Isoliermaterial ausgeführt, und die Spulen werden über die Kerne der Feldmagnete geschoben.

Insbesondere an den Polschuhen sind alle scharfen Kanten und Ecken zu vermeiden, weil durch diese die Streuung begünstigt wird.

## Wir unterscheiden zweipolige und mehrpolige Magnetsysteme.

Bei der großen Zahl der Formen der zweipoligen Magnetsysteme wollen wir nur einige sehr gebräuchliche hervorheben. Dazu gehört der in Fig. 143 dargestellte Typus. Entweder besteht der Kern *M* aus Schmiedeeisen und die beiden aus Gußeisen hergestellten Polstücke sind auf denselben schwach

Fig. 143.

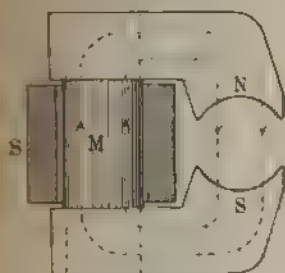
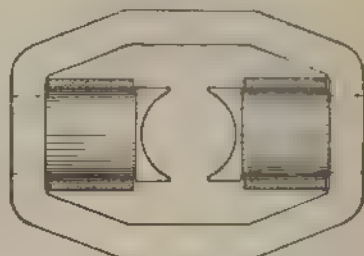


Fig. 144.



konisch aufgesetzt, oder der Kern ist mit einem der beiden Polstücke in einem Stück gegossen und nur das andere Polstück ist aufgesetzt. In Bezug auf die Verbindungslinie der Pole ist die Verteilung der Kraftlinien etwas ungleich, indem durch die dem Kerne näherliegende Ankerhälfte des kürzeren Schusses wegen eine etwas größere Zahl Kraftlinien den Weg nimmt als durch die andere Hälfte. Dieser Typus hat meist starke Kraftlinienstreuung

Fig. 145.

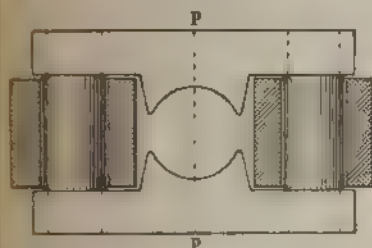
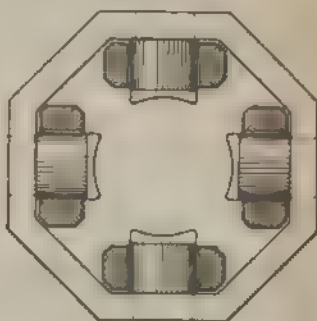


Fig. 146.



und hohes Gewicht. Da nur eine Erregerspule vorhanden ist, so ist die abkühlende Oberfläche derselben meist etwas zu klein in Rücksicht auf die in der Spule in Wärme verwandelte elektrische Energie.

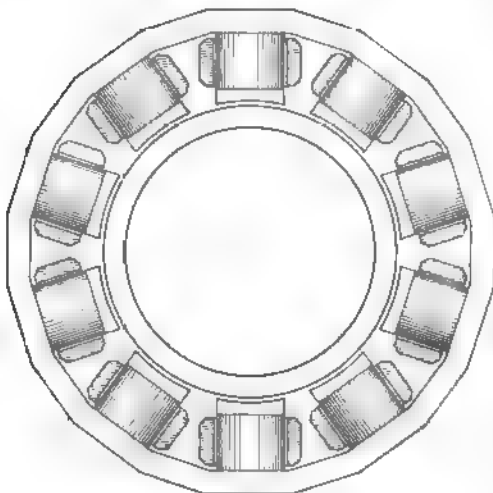
Bei dem durch Fig. 142 dargestellten Hufeisentypus haben wir einen einfachen magnetischen Kreis bei zwei Magnetspulen, wodurch die abkühlende Oberfläche vergrößert wird. Der Typus Fig. 142 zeichnet sich durch geringes Gewicht aus; das Kupfergewicht der Magnetspulen ist gering. Die Querschnitte der Kerne können oval, kreisförmig oder rechteckig sein.

Fig. 144 stellt ein Magnetsystem mit zweifachem magnetischen Kreis dar. Hier durch die beiden Erregerspulen hervorgerufene Kraftlinienstrom verzweigt sich in zwei Zweige, von denen der eine sich oberhalb, der andere unterhalb des Ankers schließt. Die Magnetgestelle dieses Typus haben mehr. großes Gewicht, brauchen jedoch nur geringes Kupfergewicht in den

Magnetspulen und bei ihnen ist die Kraftlinienstreuung klein. Das Magnetgestell wird aus einem Stücke gegossen und meist ohne besondere Polschuhe verwendet.

Fig. 145 zeigt den Manchesterstypus, der als eine Verdoppelung des Typus Fig. 143 betrachtet werden kann. Auch hier sind zwei getrennte magnetische Kreise vorhanden, indem durch jeden der beiden Magnetkerne

Fig. 147.



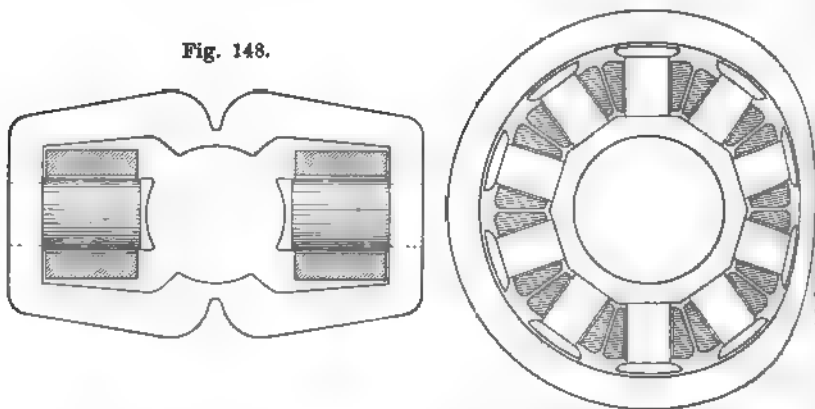
nur die Hälfte des Kraftlinienflusses geht, der im Anker vorhanden ist. Das Magnetfeld ist in Bezug auf die Linie *pp* völlig symmetrisch. Diese nach dem Manchesterstypus hergestellten Magnete fallen schwer aus, gebrauchen jedoch wenig Kupfer in den Erregerspulen. Die Kraftlinienstreuung ist meist beträchtlich.

In Fig. 146 bis 148 sind mehrpolige Magnetsysteme dargestellt. Fig. 146 kann als eine Verdoppelung des Typus Fig. 144 betrachtet werden. Fig. 147 zeigt eine zehnpolige Maschine desselben Typus. Wenn der Magnet bei diesen Maschinen so

groß wird, daß er nicht in einem Stücke gegossen werden kann, so wird das System in horizontaler Richtung geteilt, und beide Teile werden mit

Fig. 149.

Fig. 148.



Flanschen verschraubt. Bei den mehrpoligen Magnetsystemen tritt nicht die große Mannigfaltigkeit der Formen hervor wie bei den zweipoligen Magnetsystemen. In allen Fällen folgen um den Anker herum abwechselnd Nordpole und Südpole. Jeder Pol trägt seine Erregerspule.

Besonders der Raumersparnis wegen wird die vierpolige Type Fig. 148

Motoren in Kränen und Straßenbahnwagen verwendet. Bei diesem System sind vier magnetische Kreise vorhanden; je zwei derselben geben sich den Kern derselben Spule (Polgepole).

Bei allen bisher betrachteten Systemen liegen die Magnetpole außerhalb des Ankers. Maschinen dieser Art heißen Außenpolmaschinen. Bei den Innenpolmaschinen (Fig. 149) fällt das Magnetsystem leichter aus, als bei den Außenpolmaschinen gleicher Leistung. Jedoch bietet die Befestigung des Ankers auf der Welle Schwierigkeiten, da der Ankern Kern von einer Seite durch den Ankerstern gefaßt werden muß. Auch bei den Innenpolmaschinen steht der Feldmagnet fest. Der Anker ist als Ring hergestellt, wobei die wirksamen Drähte an der Innenseite des Ankers liegen. Die Fahle, bezw. Stäbe an der Außenseite dienen gleichzeitig als Kollektor (vgl. Fig. 98).

§ 44. Einstellung der Bürsten, Funkenbildung am Kollektor. Bei der Besprechung der Ankerwickelungen ist mehrfach darauf hingewiesen, daß während der Drehung des Ankers die Spulen derselben nacheinander durch die Bürsten kurz geschlossen werden, indem die Bürste gleichzeitig die beiden Lamellen eine sehr kurze Zeit berührt, zwischen denen die betrachtete Spule eingeschaltet ist. In

Fig. 150.

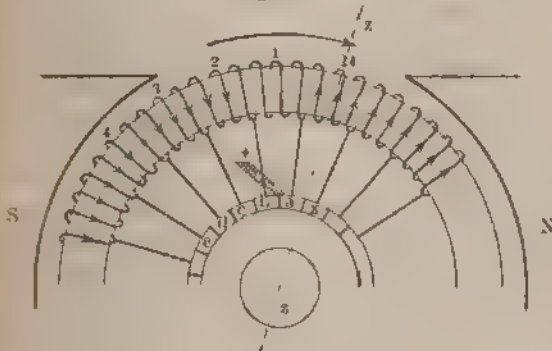


Fig. 150 ist die Stellung des Ringankers dargestellt, in welcher die Spule 1, welche zwischen den Lamellen *a* und *b* liegt, durch die Bürste kurzgeschlossen ist. Die Bürsten liegen dabei in der neutralen Zone des Ankers. Auf der einen Seite der neutralen Zone treten die Kraftlinien des Ankers ein, auf der anderen Seite treten sie aus ihm heraus. Der aus der  $+$ -Bürste tretende Strom setzt sich aus den beiden von den Ringankerhälften gelieferten Strömen zusammen, die einander entgegengesetzt sind. Die Ströme in den Spulen 2 und 24 umfließen den Anker entgegengesetzten Richtungen. Geht also eine Spule aus der Stellung in die Stellung der Spule 24 über, so muß während der sehr kurzen Dauer dieses Überganges die Umkehrung der Stromrichtung vollzogen werden. In dem Augenblicke, wo die Spule kurz geschlossen wird, hört sie weder der rechten noch der linken Ankerhälfte an, und in der beiden Zweigströme des Ankers fließt durch dieselbe. Beim

Kurzschluss wird aber die Spule nicht plötzlich stromlos, sondern infolge der Selbstinduktion wird ein Strom auftreten, der mit demjenigen gleiche Richtung hat, der kurz vorher noch durch die Spule floss. Da der Kurzschluss nur sehr kurze Zeit dauert, so ist der Selbstinduktionsstrom in 1 noch im Fluss, wenn die Lamelle  $\alpha$  die Bürste verlassen will. Solange in 1 die E.M.K. der Selbstinduktion wirksam ist, welche entgegengesetzt wirkt wie der Strom in der rechten Ankerhälfte, ist die Spule 1 auch noch nicht „offen“ für den Strom der rechten Ankerhälfte. Im Augenblick also, wo die Lamelle  $\alpha$  die Bürste verlässt, steht dem aus der rechten Ankerhälfte kommenden Strome noch nicht der Weg durch die auf diese Hälfte übertretende Spule 1 offen, und infolgedessen schlägt sich der Strom aus dieser Ankerhälfte in Gestalt eines Funkens eine Brücke über die Isolationschicht zwischen den Lamellen  $\alpha$  und  $\beta$ .

Um diese Funkenbildung zu vermeiden, durch welche der Kollektor sehr bald rauh und stark abgenutzt wird, muss die während des Kurzschlusses auftretende E.M.K. der Selbstinduktion möglichst aufgehoben werden, oder es muss sogar in der kurzgeschlossenen Spule eine E.M.K. induziert werden, welche gleiche Richtung hat mit dem Strom in der Ankerabteilung, zu welcher die Spule übertritt. Wirkt in der Spule 1 schon während des Kurzschlusses eine E.M.K., die von derselben Richtung ist wie der Strom in der Spule 24, so steht dem Strom der rechten Ankerhälfte der Weg durch die Spule 1 offen, wenn die Lamelle  $\alpha$  von der Bürste sich entfernt hat und damit die Spule 1 zur rechten Ankerhälfte übergegangen ist.

Um den während des Kurzschlusses durch die E.M.K. der Selbstinduktion erzeugten Strom, der von der Spule zur einen Lamelle, dann durch die Bürste zur anderen und von hier zur Spule zurückfließt, möglichst schnell zum Verschwinden zu bringen, d. h. um die Bewegung der durch die E.M.K. der Selbstinduktion in dem genannten Kreislauf in Bewegung gesetzten elektrischen Massen möglichst rasch zu dämpfen, kann man den Widerstand dieses Kreislaufes dadurch erhöhen, dass man an Stelle der Metallbürsten harte Kohlebürsten anwendet.

Besonders bei größeren Maschinen werden oft zur Erhöhung des Widerstandes im Schliessungskreise, in welchem die E.M.K. der Selbstinduktion wirkt, die radialen Verbindungstücke zwischen den Kollektorlamellen und den Spulen aus verhältnismässig dünnem Draht hergestellt. Beim Kurzschluss der Spule muss der durch die E.M.K. der Selbstinduktion hervorgerufene Strom zwei solche radiale Verbindungstücke durchlaufen, und er sinkt dadurch schnell auf eine geringe Stärke. Eine übermäßige Erwärmung zeigen dabei die radialen Verbindungstücke nicht, weil sie einmal einer guten Ventilation ausgesetzt sind und ferner nicht den vom Anker gelieferten Strom dauernd leiten, sondern nur in dem Augenblicke, in welchem die an sie angeschlossene Kollektorlamelle unter der Bürste durchgeht.

Das wirksamste Mittel zur Vermeidung der Funkenbildung während des Kurzschlusses bleibt jedoch, durch passende Einstellung der Bürsten den Kurzschluss an einer Stelle stattfinden zu lassen, wo die Spule bereits wieder Kraftlinien schneidet, wobei eine E.M.K. indu-

ziert wird, welche nicht allein die E.M.K. der Selbstinduktion aufhebt, sondern größer ist als letztere und also bereits einen Strom hervorbringt, der gleiche Richtung mit dem Strome der Ankerhälfte hat, zu welcher die Spule übertritt. Wir legen also die Bürsten nicht in der neutralen Zone auf, sondern verschieben diese Auflagerpunkte im Sinne der Drehbewegung des Ankers, so daß an der  $+$ -Bürste die Spulen kurzgeschlossen werden, in dem Augenblicke, wo sie die Lage der in Fig. 150 bezeichneten Spule 24 einnehmen. Erfolgt der Kurzschluß an zwei Punkten des Durchmessers  $z z'$ , so schneiden die Windungen der Spulen bereits wieder Kraftlinien, und die deshalb in ihnen induzierte E.M.K. hat gleiche Richtung mit dem Strome in den in der Drehungsrichtung folgenden Spulen, jedoch entgegengesetzte Richtung mit der E.M.K. der Selbstinduktion, welche gleiche Richtung mit dem Ankerstrome der linken Ringankerhälfte hat. Je größer die E.M.K. der Selbstinduktion der Spulen, desto weiter muß der Durchmesser  $z z'$  im Sinne der Drehbewegung des Ankers gedreht werden. Die Selbstinduktion ist proportional dem Quadrate der Windungszahl (vergl. § 63). Je größer also die Windungszahl der Ankerspulen ist, desto weiter muß  $z z'$  aus der neutralen Zone gedreht werden.

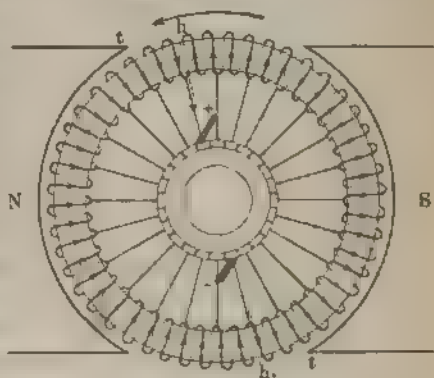
§ 46. Ankerrückwirkung. Bislang ist nur von dem magnetischen Felde die Rede gewesen, welches durch die Pole des Feldmagneten hervorgebracht wird. Aber der vom Strome durchflossene Anker wird ebenfalls zu einem Magneten und erzeugt ein magnetisches Kraftfeld, welches freilich in den meisten Fällen erheblich schwächer ist als das vom Feldmagneten herführende.

In Fig. 151 ist ein zweipoliger Ringanker dargestellt, und die Auflagerstellen der Bürsten sind in der Drehungsrichtung zur Vernichtung der Selbstinduktion in den Spulen verschoben. Wir setzen voraus, daß der Anker Strom

liefert. Wird durch Schnitte bei  $h$  und  $h_1$  der Anker in zwei Hälften zerlegt gedacht, so erhalten wir zwei Elektromagnete, die gemeinsam ihre Nordpole bei  $h$ , dagegen ihre Südpole bei  $h_1$  haben. Die vom Strome durchflossene Wickelung magnetisiert also den Ankerkern so, daß bei  $a$  ein Nordpol und bei  $b$  ein Südpol entsteht.

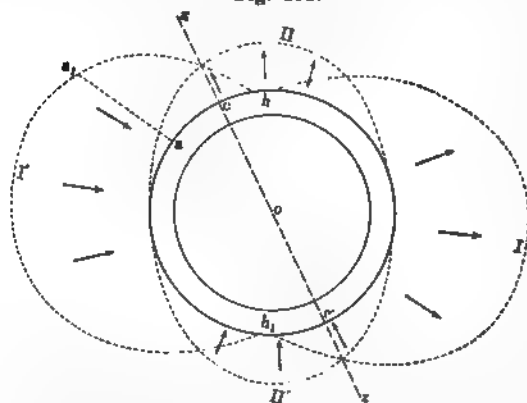
In Fig. 152 wollen wir graphisch die Zahl der Kraftlinien darstellen, welche an jeder Stelle der Außenfläche des Ankers ein- oder

Fig. 151.



austreten. Die Pfeile geben die Richtung der Kraftlinien an. Die Strecke  $aa_1$  des vom Mittelpunkt aus gezogenen Strahles  $oa_1$  soll die Zahl der Kraftlinien darstellen, welche vom Nordpole des Magneten pro Quadratcentimeter an der Stelle  $a$  in den Anker treten. Wir erhalten nach dem vorigen im ganzen vier Kurven. Die Kurven I und I' stellen für jede Stelle der Ankeroberfläche die Zahl der ein- bzw. austretenden Kraftlinien pro Quadratcentimeter dar. Die Kurven II geben die Zahl der ein- und austretenden Kraftlinien an, welche durch

Fig. 152.



die vom Strome durchflossene Wicklung des Ankers hervorgerufen werden. Dabei treten an den Polen  $a$  und  $a_1$  des Ringankers die meisten Kraftlinien aus; die Dichte derselben nimmt von den Polen aus nach beiden Seiten bis zur indifferenten Zone in gleicher Weise ab wie bei dem in Fig. 4

dargestellten Stabmagneten. Die Darstellung in Fig. 152 entspricht den Verhältnissen des Ringankers in Fig. 151. Der Durchmesser, in welchem die Bürsten in Fig. 151 aufliegen, bestimmt die Lage der Pole des Ankers, welche durch den Ankerstrom hervorgerufen werden.

Die indifferente Zone bei der Magnetisierung durch den Ankerstrom fällt nahezu mit der Verbindungslinie der Pole des Feldmagneten zusammen. Der Anker wird also quermagnetisiert zu der Richtung der Magnetisierung durch den Feldmagneten.

Die Kurven I, I' und II, II' schneiden sich an vier Stellen. In der Zone  $ss$ , d. h. an den Stellen  $c$  und  $c'$  der Ankeroberfläche ist die Summe der ein- und austretenden Kraftlinien gleich Null, indem z. B. an der Stelle  $c$  vom Nordpol des Feldmagneten ebenso viel Kraftlinien in den Anker treten, wie durch die Ankerwicklung aus demselben herausgetrieben werden. Die wirkliche neutrale Zone  $ss$  des Ankers fällt also mit dem Durchmesser  $cc'$  zusammen. Die neutrale Zone liegt nicht zur Pollinie des Feldmagneten senkrecht, sondern wird im Sinne der Drehung des Ankers aus dieser Stellung verschoben, und zwar um so mehr, je stärker der Strom in der Ankerwicklung ist.

Die Kurven II und II' geben die Stärke des sogenannten Ankerfeldes an, welche mit den Ampèrewindungen auf dem Anker wächst. Ist der Anker stromlos, so fallen die Kurven II und II' fort und die



neutrale Zone des Ankers, in welcher die in den Ankerleiter induzierte E. M. K. gleich Null ist, fällt in die Richtung  $hh$ . Je stärker der Ankerstrom, desto höher erheben sich die Kurven II und II' über die Ankeroberfläche; desto größer ist auch der Winkel zwischen der neutralen Zone  $ss$  und dem Durchmesser  $hh_1$ .

Da die Bürsten auf denjenigen Lamellen aufliegen sollen, die direkt mit den Ankerleitern verbunden sind, welche die neutrale Zone passieren, so müssen die Auflagerpunkte der Bürsten in der Richtung der Drehung des Ankers um einen bestimmten Betrag aus dem Durchmesser  $hh_1$  (Fig. 152) verschoben werden, um zwar um so mehr, je größer die Stromstärke im Anker ist. Nimmt man hinzu noch die Bürstenverschiebung, welche zur Vernichtung der Selbstinduktion in den Ankerspulen gefordert wird, so ergibt sich, daß bei der normalen Ankerstromstärke an zweipoligen Maschinen die Bürsten meist so weit verschoben werden, daß ihre Auflagerpunkte auf einem Durchmesser liegen, der mit der Verbindungslinie der Polecken  $t - t$ , Fig. 151, zusammenfällt.

Der Verschiebung der Bürsten aus der neutralen Zone ist beim Ringanker weit größer als beim Trommelanker. Streng genommen muß bei jeder Änderung der Stromstärke eine Veränderung der Bürstenstellung vorgenommen werden, damit die Funkenbildung am Kollektor unterbleibt.

Im Anschluß an die Fig. 151 und 152 weisen wir darauf hin, daß bei den diametral liegenden Polen des stromdurchflossenen Ringankers auch innerhalb desselben ein Magnetfeld entsteht, dessen Kraftlinien dem Durchmesser  $hh_1$  parallel laufen, der die Auflagerpunkte der Bürsten verbindet. Wir erhalten also im Innern des Ringankers ein stehendes Magnetfeld (vergl. § 37).

## Sechstes Kapitel.

### Die Gleichstrom-Elektromotoren.

§ 46. Wirkungsweise und Grundgesetze der Motoren. Der Elektromotor ist die Umkehrung der Dynamo; er verbraucht elektrische Energie und liefert an seiner Welle mechanische Energie zum Betriebe von Winden, Werkzeugmaschinen, Ventilatoren, Pumpen, Eismaschinen u. s. w.

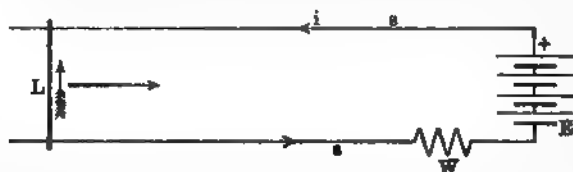
Jede Dynamo kann auch als Motor verwendet werden, und in den meisten Fällen kann auch ein Elektromotor zur Stromerzeugung, also als Generator, benutzt werden. Trotzdem kann eine elektrische Maschine, und zwar gut besonders für solche mit geringen Leistungen, als Motor einen günstigeren Wirkungsgrad haben, als sie als Dynamo zeigt. Umgekehrt kann eine vortreffliche Dynamo nur einen weniger guten Motor abgeben. Die

Erfahrung hat gezeigt, daß gewisse Einzelheiten der Konstruktion sich ändern, je nachdem die Maschine als Generator oder als Motor dienen soll. Der Aufbau des Motors ist im allgemeinen derselbe wie der der Dynamo. Als Hauptteile des Motors haben wir demnach 1. den Feldmagneten, 2. den Anker mit der Wicklung und den Kollektor. Der Anker befindet sich im Felde zwischen den Polen des Magneten und kann als Ring- oder Trommelanker nach den in § 88 u. s. f. beschriebenen Wicklungen ausgeführt sein.

Die Wirkungsweise des Elektromotors beruht auf der Wirkung des magnetischen Feldes auf die Ankerdrähte, durch welche ein elektrischer Strom von einer Dynamo (Generator) oder einem Akkumulator fließt. Die Triebkraft des Elektromotors ist also eine elektromagnetische.

Wir betrachten zunächst folgenden einfachen Versuch (Fig. 153). Die beiden Kupferschienen  $ss$ , auf denen das Gleitstück  $L$  beweglich ist, sind mit der Stromquelle, deren E.M.K.  $= E$  ist, verbunden.

Fig. 153.



Der eingeschaltete Widerstand  $W$  wird so gewählt, daß der Strom eine passende Stärke erhält. Ist der Widerstand des ganzen Schließungskreises  $w$ , so ist die Stromstärke im Gleitstücke  $i = \frac{E}{w}$ . Die Fläche, in welcher  $ss$  und  $L$  liegen, sei senkrecht zu den Kraftlinien eines gleichförmigen magnetischen Feldes, dessen Stärke  $H$  sei. Wir nehmen an, daß die Kraftlinien von vorne durch die Ebene der Zeichnung hindurchgehen. Dann wird auf das Gleitstück nach § 19 die Kraft

$$K = \frac{i \cdot L \cdot H}{9810000} \text{ kg}$$

ausgeübt. Durch die Kraft  $K$  wird der Leiter  $L$  in Fig. 153 auf den Schienen von rechts nach links bewegt.

Fig. 154 stellt einen Ringanker in einem zweipoligen Felde dar. Die Bürsten sind fest, liegen in der neutralen Zone am Umfange des Ankers auf und sind durch die Polklemmen  $KK$  mit einer Stromquelle, etwa einer Akkumulatorenbatterie, verbunden, so daß zwischen den Polklemmen bzw. Bürsten die konstante Spannung  $E_p$  vorhanden ist. An der  $+$ -Bürste teilt sich der Strom  $i$ , und durch jede der beiden Ringankerhälften, die durch die neutrale Zone entstehen, fließt der Strom  $i/2$ . In Fig. 154 sind in den Ankerdrähten auf der Außenseite des Ankers, rechts von der neutralen Zone, die Ströme nach dem Beschauer hin gerichtet, dagegen links von der neutralen Zone

von ihm fort gerichtet. Die Kraftlinien gehen vom Nordpol durch den Ankerkern zum Südpol über und haben im Luftzwischenraum nahezu einen radialen Verlauf, d. h. sie sind senkrecht zur Ankeroberfläche.

Fig. 154.

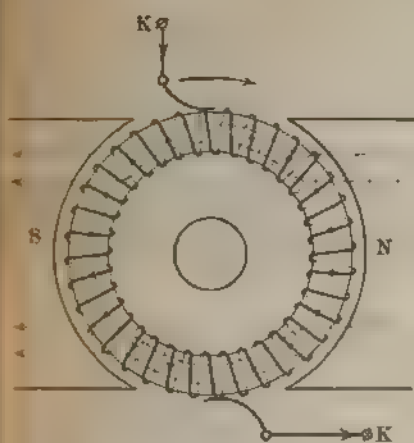
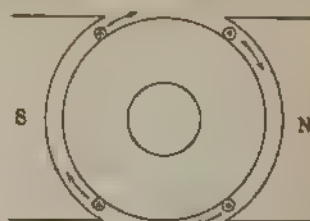


Fig. 155.



Jeder dieser Leiter verhält sich wie der Leiter  $L$  in Fig. 153. Auf jeden im Luftzwischenraum liegenden Ankerleiter wird also eine Kraft ausgeübt, deren Richtung sich leicht nach § 19 bestimmen läßt. Die Kraft wirkt dabei tangential am Umfange des Ankers.

In Fig. 155 sind nur vier Leiter auf der Ankeroberfläche dargestellt; die neben ihnen gezeichneten Pfeile geben die Richtung der

Fig. 156.

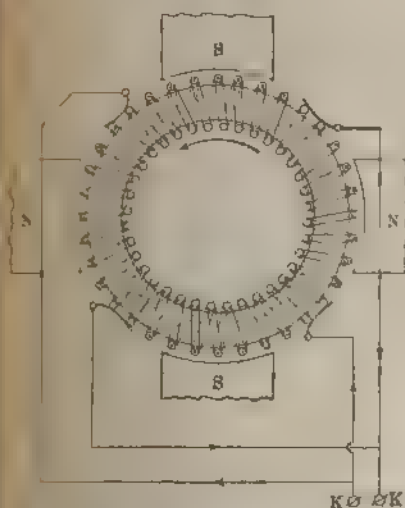
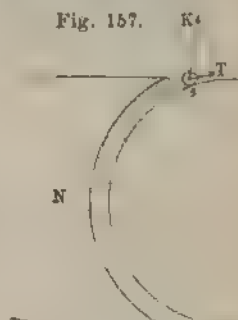


Fig. 157.



Kraft an, welche das Feld auf die Stromleiter ausübt. Die auf sämtliche Ankerleiter ausgeübten Kräfte drehen den Anker in demselben Sinne, und ihre Summe ergibt die ganze am Anker wirkende Umfangskraft.

Durch diese Umfangskraft wird der Anker in Drehung versetzt, und diese Drehung bleibt in derselben Richtung erhalten, da in jedem

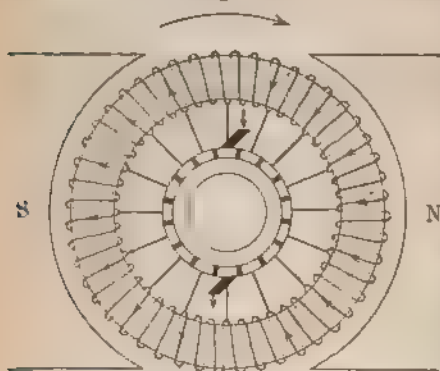
Drabte beim Passieren der neutralen Zone die Stromrichtung umgekehrt wird. Die am Umfange des Ankers liegenden Bürsten dienen also gewissermaßen zur Steuerung des Stromes, sie sind so eingelegt, daß beide Ankerhälften gleiche Drehungsmomente, auch der Richtung nach, entwickeln.

Fig. 156 stellt einen vierpoligen Ringanker dar. Am Umfange des Ankers wechseln Nordpole mit Südpolen ab, so daß die Kraftlinien in den aufeinander folgenden Quadranten abwechselnd in den Anker eintreten, da aus ihm austreten. In den neutralen Zonen selbst treten weder Kraftlinien ein noch aus. Je zwei diametrale Bürsten sind unter sich verbunden. Das eine Paar ist mit dem positiven Pol, das andere Paar mit dem negativen Pol einer Stromquelle verbunden. Wir erhalten auch hier für jede Hälfte des Ankers vier parallel geschaltete Ankerstromzweige, jeder derselben entspricht einem Quadranten oder Pole, und in den aufeinander folgenden Quadranten sind die Ströme in den Windungen des Ankers entgegengesetzt gerichtet (Fig. 157).

#### Der zweipolige Ringanker mit Kollektor (Fig. 158)

Die feststehenden Bürsten zusammen mit dem Kollektor bilden den Steuerungsapparat des Ankers. Der Kollektor ist eingerichtet wie bei den

Fig. 158.



Dynamos. Zwischen je zwei aufeinander folgenden Lamellen ist eine Ankerspule, meist mit mehreren Windungen eingeschoben. In der neutralen Zone liegen die Kollektor die feststehenden Bürsten auf.

Wie bei den Ankeren der Dynamos, so kann auch bei denen der Motoren die Verschaltung der Ankerspulen so geführt werden, so daß es wie bei dem in Fig. 114 dargestellten Anker im vierpoligen Felde nur zwei Ankerstromzweige haben. Auch hierbei muß die Wicklung derartig ausgeführt sein, daß auf alle Ankerzweige

von dem magnetischen Felde tangentielle Kräfte ausgeht werden, die auch den Anker in der gleichen Richtung drehen. Die Serienschaltung wird hauptsächlich bei solchen Motoren angewandt, die bei Spannungen von 500 Volt und mehr arbeiten (Straßenbahnmotoren) und dabei nur für kleine Leistungen (etwa 20 P.S.) gebaut sind.

Während im Luftzwischenraum die Kraftlinien auf dem kürzesten Wege vom Polschuh zum Anker übergehen, also radialen Verlauf haben, breiten sich am Rande der Polschuhe die Kraftlinien fächerförmig aus. Die auf den Stromleiter  $s$  (Fig. 157, a. v. S.) ausgeübte Kraft  $S$  steht senkrecht zur Richtung der Kraftlinien.  $T$  ist die in tangentialer Richtung am Umfange des Ankers wirkende Komponente von  $K$ . Je schräger die Kraftlinien in den Anker treten, desto geringer wird diese

Komponente  $T$ . In der neutralen Zone selbst wird die in der Richtung der Tangente auf den Ankerleiter ausgeübte Kraft gleich Null. Von der Ecke des Polschuhs nach der neutralen Zone nimmt am Umfang des Ankers die Feldstärke außerdem schnell ab.

### Elektromotorische Gegenkraft des Ankers.

Wird das Gleitstück  $L$  (Fig. 153) durch das magnetische Feld mit der Kraft  $K$  auf den Schienen  $ss$  bewegt, so schneidet es die Kraftlinien, und in ihm wird eine E.M.K. induziert, deren Richtung bei der Bewegung von links nach rechts durch den gestrichelten Pfeil, auf Grund der Regel I § 27, dargestellt wird. Die induzierte E.M.K. wirkt also der E.M.K. der Stromquelle und damit dem Strom  $i$  entgegen; sie tritt als elektromotorische Gegenkraft  $E_1$  auf. Während der Bewegung des Gleitstückes ist also die Stromstärke  $i_1$  in demselben

$$i_1 = \frac{E - E_1}{w}.$$

Ruht das Gleitstück, so ist  $E_1 = 0$ .  $E_1$  wird nach § 28 durch die Zahl der Kraftlinien bestimmt, welche das Gleitstück pro Sekunde schneidet.

Befindet sich der Anker (Fig. 154) in Ruhe und verbindet man die Bürsten mit den Polen einer Stromquelle, so fließt ein Strom durch die Ankerwindungen, der den Anker mit kräftigem Drehungsmoment in Bewegung setzt. Ist  $E_p$  die durch die Stromquelle hervorgebrachte Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten und  $w_a$  der Widerstand des Ankers, so würde durch den ruhenden Anker der Strom

$$(36) \quad i = \frac{E_p}{w_a}$$

fließen

Wird in der Zuleitung zum Anker ein Strommesser eingeschaltet so zeigt derselbe beim Einschalten die Stromstärke  $i$  an, welche aber in dem Maße abnimmt, wie die Drehungsgeschwindigkeit des Ankers zunimmt<sup>1)</sup>.

Die Änderung der Stromstärke während des Anlaufens des Ankers scheint auf den ersten Blick mit dem Ohmschen Gesetze im Widerspruch zu sein. Dasselbe ergibt sich jedoch aus der im rotierenden Anker hervorgebrachten Gegen-E.M.K.

Sobald der Anker des Motors in Drehung versetzt wird, entsteht in ihm eine elektromotorische Gegen-

<sup>1)</sup> In den weitaus meisten Fällen ist bei diesem Inbetriebsetzen des Motors der in den Anker fließende Strom wegen des geringen Ankerwiderstandes so stark, daß die Ankerwicklung beschädigt wird; es muß bei den Motoren in der Zuleitung ein Anlaufwiderstand eingeschaltet werden (vergl. § 42).

kraft die um so größer ist, je schneller der Anker umläuft und je stärker das Feld ist. Die Ankerleiter schneiden die Kraftlinien und in ihnen wird daher eine E.M.K. induziert, in derselben Weise wie in den wirksamen Leitern an dem Anker der Dynamo. Bestimmen wir nach der Regel § 27 die Richtung der E.M.K. für den Ringanker Fig. 154, so zeigt sich, daß in allen Ankerleitern die induzierte E. M. K. dem Strome entgegenwirkt, der infolge der Polklemmenspannung  $E_p$  durch den Anker getrieben wird. Die in den einzelnen Ankerleitern induzierten elektromotorischen Kräfte setzen sich zur Gegen-E.M.K. des Ankers zusammen in derselben Weise wie bei der Dynamo. Sind  $s$  wirksame Ankerleiter vorhanden, bedeutet  $n$  die Tourenzahl des Ankers in der Minute und gehen vom Nordpol  $\Phi$  Kraftlinien durch den Anker zum Südpol, so ist die Gegen-E.M.K. des Ankers entsprechend der Gleichung 36

$$(36) \quad E = \frac{n \cdot s \cdot \Phi}{60} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Rotiert der Anker des Motors, so ist der durch ihn fließende Strom

$$(37) \quad i = \frac{E_p - E}{w_a}.$$

Der Energieverbrauch des Ankers ergibt sich als das Produkt aus der Bürstenspannung bzw. Polklemmenspannung und der Stärke des in den Anker fließenden Stromes. Wird die Belastung an der Welle des Motors vergrößert, so muß der Energieverbrauch des Motors steigen, und bei konstanter Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten muß also der Strom im Anker zunehmen. Wir werden später sehen, daß die Motoren meistens so betrieben werden, daß man die Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten konstant erhält (Betrieb mit konstanter Spannung, vergl. § 41, 1). Die Regelung der Stromstärke im Anker erfolgt durch die Gegen-E.M.K. Bei verschiedenen Belastungen und konstanter Polklemmenspannung  $E_p$  des Motors nimmt der Anker stets solche Tourenzahl an, daß eine Gegen-E.M.K. entwickelt wird, welche so viel Strom in den Anker fließen läßt, daß bei der vorhandenen Feldstärke die entgegenstehenden Widerstände gerade überwunden werden. Ist der Widerstand gegen die Bewegung des Ankers zu groß, so daß überhaupt keine Rotation eintritt, so ist  $E = 0$ , und  $i$  nimmt in diesem Falle einen Wert an, der weit über der normalen Betriebsstromstärke liegt.

Wir erhalten aus der Gleichung (37)

$$(38) \quad E_p = E + i w_a.$$

Beim Motor ist also die Polklemmenspannung größer als die im Anker induzierte E.M.K. und zwar um den im Anker eintretenden Spannungsverlust.



Die an den Polklemmen des Motors wirkende Spannung zerfällt in zwei Teile, von denen der eine zur Deckung des Spannungsverlustes im Anker, der andere zur Überwindung der im Anker auftretenden Gegen-E.M.K. dient.

Der rotierende Anker verbraucht die Energie  $E_p \cdot i$  Watt, und wir haben nach der Gleichung (38)

$$(39) \quad E_p \cdot i = E i + i^2 \cdot w_a.$$

$i^2 w_a$  ist die im Anker in Wärme verwandelte Energie.  $E i$  ist die elektrische Energie, welche in mechanische Energie verwandelt wird.

### Zugkraft und Drehungsmoment des Ankers.

Nach den Betrachtungen des § 19 ist die auf den Leiter am Umfange des Ankers ausgeübte Zugkraft proportional der Stromstärke in demselben, ferner der Feldstärke im Luftzwischenraum.

Daraus ergibt sich, daß die Umfangskraft, welche den Anker in Drehung versetzt, proportional ist 1. der Ankerstromstärke, 2. der Feldstärke im Luftzwischenraum und 3. der Länge des Ankerdrahtes bzw. der Zahl der an der Außenseite des Ankers liegenden Leiter. Ist also  $i_a$  der in den Anker fließende Strom,  $\Phi$  die Zahl der Kraftlinien, welche vom Nordpol in den Anker gehen, und  $z$  die Zahl der Leiter auf der Ankeroberfläche, so ist das Drehungsmoment

$$(40) \quad D = k \cdot i_a \cdot \Phi \cdot z,$$

wo  $k$  eine Konstante für jeden Motor ist.

Die Zahl  $z$  der Windungen ist im Betriebe fast stets konstant. Zur Regulierung des Drehungsmomentes können  $i_a$  und  $\Phi$  gleichzeitig oder einzeln geändert werden. Auch hier ist der Stromstärke  $i_a$ , die durch den Anker fließen kann, eine Grenze gesetzt, indem bei zu hoher Stromstärke eine übermäßige Erwärmung der Ankerwicklung stattfindet. Theoretisch kann man das Drehungsmoment und die Zugkraft des Ankers so weit erhöhen, daß er ganz langsam läuft oder stillsteht. Dabei würde aber wegen des geringen Betrages der Gegen-E.M.K. ein so kräftiger Strom durch die Ankerwicklung fließen, daß die Isolation beschädigt, und damit der Anker überhaupt unbrauchbar würde. Auch die Feldstärke kann nur bis zu einer gewissen Grenze bei den Motoren gesteigert werden, die erreicht ist, wenn die Sättigung des Magneten eintritt.

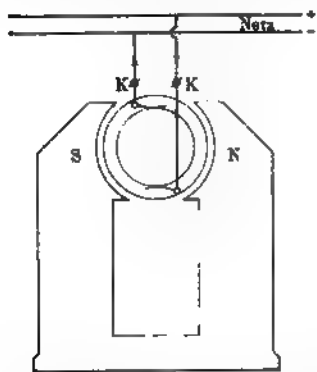
Die Gleichungen 38, 39 und 40 enthalten die Grundgesetze der Motoren.

**§ 47. Der Magnetmotor.** Um die Vorgänge in den Motoren und die Betriebsverhältnisse derselben genauer zu untersuchen, ist es am einfachsten, einen Motor mit permanenten Magneten zu betrachten. In den weitaus meisten Fällen, wie auch auf den Schiffen, ist der Betrieb mit konstanter Spannung im Gebrauch von dem schon auf S. 90 die Rede gewesen. Der Grund für die Wahl dieses Betriebes liegt in der Art, in der die Energie vom Maschinenraum und den Centralen aus verteilt wird



In Fig. 159 ist die Schaltung eines Motors mit Dauermagneten dargestellt.  $e$  sei die Spannung zwischen den beiden Leitungen —

Fig. 159.



die sogenannte Netzspannung (Betriebsspannung).  $K$  und  $K$  sind die Polklemmen des Motors, welche durch Kupferdrähte oder Kabel aus Kupfer von geringem Widerstande mit dem Netze verbunden seien. Dann ist die Polklemmenspannung  $E_p$  praktisch gleich der Netzspannung  $e$ . Ist der Motor weiter entfernt vom Leitungsnetze aufgestellt, so daß die Zuleitungen einen merklichen Widerstand  $w$  haben, so wäre

$$E_p = e - iw,$$

wenn  $i$  der in den Anker fließende Strom ist.

Würden bei ruhendem Anker die Bürsten direkt mit dem Netze verbunden, so würde im Augenblick des Einschaltens, da bei ruhendem Anker die Gegen-E.M.K. gleich Null ist, ein kräftiger Strom  $i_0$  durch den Anker fließen, indem nach der Gleichung 37

$$i_0 = \frac{E_p}{w_a}$$

ist, wobei  $w_a$  den Widerstand des Ankers bezeichnet.

Durch diesen Strom  $i_0$ , der selbst bei kleinen Motoren erheblich größer ist als der normale Betriebsstrom  $i$ , erhält der Anker ein kräftiges Drehungsmoment nach der Gleichung 40, er wird also mit großer Geschwindigkeit anlaufen.

Bei den neueren Gleichstrommotoren ist der Ankerwiderstand in den meisten Fällen sehr klein und bei normalem Betriebe beträgt der Energieverlust  $i^2 w_a$  im Anker etwa 4 Proz. der ganzen vom Motor verbrauchten Energie, d. h.

$$i^2 w_a = 0,04 \cdot E_p \cdot i$$

oder

$$i w_a = 0,04 E_p.$$

Beim Anlauf ist dagegen nach der Gleichung 37

$$i_0 \cdot w_a = E_p,$$

d. h.:

$$i = 0,04 i_0 = \frac{1}{25} i_0.$$

Somit ist unter den obigen Verhältnissen der Strom beim Anlauf 25mal stärker als der normale Betriebsstrom. Die Ankerwicklung, welche für den normalen Betriebsstrom eingerichtet ist, wird beim direkten Einschalten des Ankers sehr stark erhitzt und in den meisten Fällen zerstört.

Das Einschalten des ruhenden Motors muß dadurch geschehen, daß man in der Leitung nach dem Anker einen regulierbaren Widerstand

— den Anlaufwiderstand — einschaltet. Ist der gesamte Widerstand im Anlasser  $r$ , so fließt beim Einschalten durch den Anker

der Strom  $i' = \frac{E_p}{w_a + r}$ .  $r$  wird so gewählt, daß der Anlaufstrom

wenig größer ist als der normale Betriebsstrom, denn für kurze Zeit kann die Ankerwicklung wohl das Doppelte des normalen Betriebsstromes aufnehmen, ohne beschädigt zu werden. Beim Anlaufen wird  $r$  allmählich verringert, während die Tourenzahl des Ankers zunimmt und damit die Gegen-E.M.K. ansteigt. Schließlich ist der Anlaufwiderstand ganz ausgeschaltet, und wir haben dann

$$i = \frac{E_p - E}{w_a}.$$

Energiegleichung und Wirkungsgrad des Magnetmotors.

Ist der Anlaufwiderstand  $r$  ausgeschaltet, so wird

$$E_p = E + i w_a$$

und ferner

$$E_p \cdot i = Ei + i^2 w_a,$$

wobei  $i$  die Stärke des in den Anker fließenden Stromes ist.

Die gesamte vom Motor aufgenommene Energie ist  $E_p \cdot i = A$ . Hiervon wird der Teil  $Ei$  in mechanische Energie  $A_m$  verwandelt. Wäre der Anker des Motors widerstandslos, also  $w_a = 0$ , so würde  $A = A_m$ , und die ganze dem Motor zugeführte und von ihm verbrauchte elektrische Energie würde in mechanische Energie verwandelt. In Wirklichkeit sucht man den Ankerwiderstand möglichst klein zu machen, um den Verlust  $i^2 w_a$  auf einen geringen Betrag zu reduzieren. Nicht der ganze Betrag  $A_m$  kann jedoch an der Welle des Motors als Nutzleistung verwertet werden, weil die passiven Widerstände des Motors, wie Lagerreibung u. s. w., einen Teil von  $A_m$  verbrauchen. Bezeichnen wir mit  $L$  die zur Überwindung der Lagerreibung u. s. w. verbrauchte Energie und mit  $A_n$  die an der Welle des Motors zur Verfügung stehende Nutzleistung, so ist

$$A_m = A_n + L,$$

und ferner

$$A = A_n + i^2 w_a + L.$$

Für den totalen Wirkungsgrad  $\eta$  des Motors haben wir

$$(41) \quad \left\{ \begin{array}{l} \eta = \frac{\text{Leistung des Motors an der Welle}}{\text{Zugeführte Energie}} \\ \eta = \frac{A_n}{A_n + i^2 w_a + L} \end{array} \right.$$

Vernachlässigt man den Verlust  $i^2 w_a$ , so wird  $A = A_n + L$ , und  $A$  wird in Fig. 160 durch die Ordinaten der Geraden  $OM$  dargestellt, indem  $O$  die Leistung  $L$  darstellt und von  $O$  auf der horizontalen Achse die Nutz-

leistung  $A_n$  des Motors abgetragen wird. Stellt für einen bestimmten Fall  $O'A$  die Nutzleistung des Motors dar, so ist  $AA'$  die vom Motor verbrauchte Energie. Da die Energieverluste im Anker mit dem Quadrate der Stromstärke wachsen, so würde unter Berücksichtigung dieser Verluste der Energieverbrauch des Motors durch die Ordinaten der Kurve  $OM'$  dargestellt werden, wobei die Strecke  $A'A''$  dem Energieverluste  $i^2 w_a$  im Anker entspricht.

Bleibt ferner der Energieverlust  $i^2 w_a$  zunächst unberücksichtigt, so erhalten wir

$$\eta = \frac{A_n}{A_n + L}.$$

Da  $L$  bei verschiedenen Belastungen des Motors nahezu konstant ist, so wird  $\eta$  bei wachsender Leistung  $A_n$  des Motors immer mehr

Fig. 160.

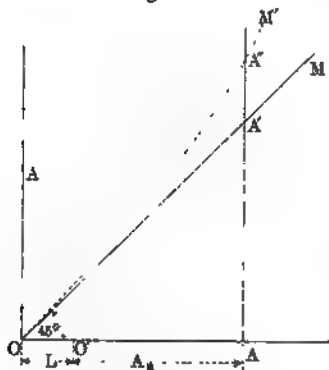
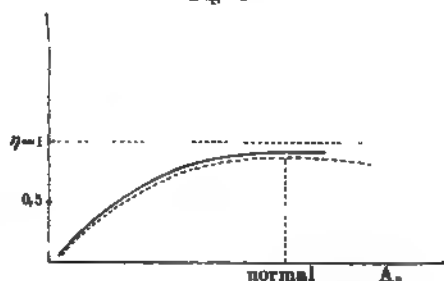


Fig. 161.



dem Werte 1 sich nähern, wie die Fig. 161 darstellt, wo die an der Welle des Motors abgegebene Leistung  $A_n$  als Abcisse dargestellt ist, und die Ordinaten der Kurve den Wirkungsgrad für die entsprechende Leistung des Motors darstellen. Berücksichtigen wir aber den Verlust im Anker, so hat die Kurve für  $\eta$  einen etwas veränderten Verlauf, der Wirkungsgrad ist kleiner und wird etwa durch die punktierte Kurve dargestellt. Wird die normale Belastung des Motors wesentlich überschritten, so kann die Kurve für  $\eta$  wieder abfallen. Der richtig konstruierte Motor soll bei der normalen Belastung den höchsten Wirkungsgrad haben, und für denselben ist der obere Teil der Kurve  $\eta$  so flach, daß der Wirkungsgrad sich zwischen  $\frac{3}{4}$  und  $\frac{5}{4}$  der normalen Belastung nur unbedeutend ändert.

Stellt die Seite  $OB$  des Quadrates (Fig. 162) die Polklemmenspannung dar, während  $OA$  die Gegen-E. M. K. =  $E$  des Motors ist, so gibt  $AB = CD$  den Spannungsverlust  $i w_a$  im Anker des Motors nach der Gleichung 32.  $AB = CD$  stellt also  $i w_a = E_2 - E$  dar, ist also proportional der Stromstärke  $i$ , da  $w_a$  konstant ist. Da  $AF = BG = E$  ist, so stellt das Rechteck  $ABGF = CFED$  durch seinen Inhalt die im Motor in mechanische Energie verwandelte elektrische Energie  $E \cdot i$  dar. Der Inhalt des Rechtecks  $ABHE$

entspricht der dem Motor zugeführten Energie  $E_p$  . i. Der Wirkungsgrad  $\eta$  ist durch das Verhältnis der Flächen

$$\eta = \frac{\square CFED}{\square ABHE}$$

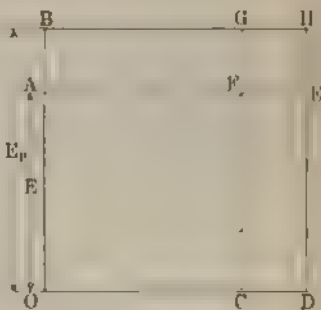
gegeben. Da die Seite  $AB = HE$  der Stromstärke proportional ist und  $GH = FE$  den Spannungsverlust  $E_p - E$  im Anker darstellt, so entspricht der Inhalt des Quadrates  $GFHE$  dem Energieverlust im Anker des Motors. Bei Leerlauf rückt  $F$  nahe heran an  $H$ ; bei absolutem Leerlauf, d. h. wenn die passiven Widerstände  $= 0$  wären, würden  $H$  und  $F$  zusammenfallen. Der Motor verbraucht dann keine Energie, leistet aber auch nichts; die im Anker induzierte E.M.K. würde in diesem idealen Falle der Polklemmenspannung das Gleichgewicht halten, und wäre gleich Null.

Das Rechteck  $CFED$  stellt nicht allein die Nutzleistung an der Welle des Motors dar, sondern überhaupt alle elektrische Energie, die in mechanische verwandelt ist, also nach der früheren Bezeichnung  $A_n + L$ .

Ist  $E = \frac{E_p}{2}$ , so wird das Rechteck  $ABGF$  zum Quadrat, und dieses hat unter allen Rechtecken, dessen eine Ecke in  $B$ , während die gegenüberliegende Ecke auf  $OH$  liegt, den größten Inhalt. Für  $E = \frac{E_p}{2}$  hat also der Motor seine größte Leistung, während der Wirkungsgrad  $= 0.5$  ist. Maximum der Leistung und möglichst großer Wirkungsgrad fallen also nicht zusammen. In der Praxis arbeiten die Motoren mit wesentlich höherer, fast der doppelten, Tourenzahl, als diejenige ist, bei der die Leistung ihren höchsten Betrag hat.

Tourenzahl des Motors. Bei normaler Belastung unterscheiden sich  $E$  und  $E_p$  bei den in der Praxis ausgeführten Motoren nur um einige Prozent von  $E_p$ , weil  $w_a$  meist sehr klein ist. Wird die Belastung geringer als die normale, so ist die Differenz zwischen  $E_p$  und  $E$  noch kleiner. Bei Leerlauf sind  $E_p$  und  $E$  sehr nahe einander gleich. Ist der Motor an der Welle normal belastet, und vermindern wir die Belastung, so muß nach dem Energieprinzip auch der Energieverbrauch des Motors abnehmen. Da die Polklemmenspannung als konstant vorausgesetzt ist, so muß infolge der Abnahme der Belastung der Stromverbrauch des Motors sinken. Bei der Verminderung der Belastung wird der Anker ein wenig seine Tourenzahl erhöhen, so daß die Gegen-E.M.K. (Gleichung 36) ansteigt, und damit die Stromstärke im Anker nach der Gleichung 37 abnimmt. Setzt man den Ankerwiderstand als sehr klein voraus, so genügt bereits eine geringe Erhöhung der Tourenzahl und damit der Gegen-E.M.K., um die Stromstärke im Anker merklich abzuschwächen. Nach den an die Gleichung 37 geknüpften Bemerkungen reguliert also die

Fig. 162



Gegen -E.M.K. den Energieverbrauch des Motors, indem der Anker stets auf solche Tourenzahl einläuft, daß gerade so viel Strom durch den Anker fließt, daß die der Bewegung des Ankers entgegenstehenden Widerstände überwunden werden.

Aus den Gleichungen 36 und 37 ergibt sich, daß

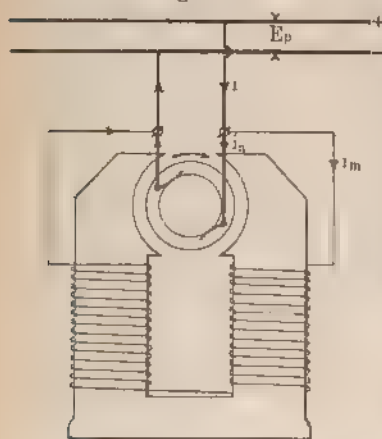
$$(42) \quad n = \frac{60 \cdot (E_p - r_a i_a)}{Z \cdot \Phi} 10^4.$$

Da die Betriebsspannung  $E_p$  als konstant vorausgesetzt ist, und  $r_a$  vom Leerlauf bis Vollast bei den in der Praxis am meisten getrauten Motoren bis etwa  $0,05 \cdot E_p$  anwächst, so bleibt bei konstantem  $\Phi$  die Tourenzahl fast konstant, wenn der Motor vom Leerlauf bis Voll belastet wird. Der Magnetmotor zeichnet sich daher durch die Eigenschaft aus, daß bei dem Betriebe mit konstanter Spannung seine Tourenzahl sich wenig mit der Belastung ändert, solange diese ihren normalen Betrag nicht merklich überschreitet.

#### § 48. Der Elektromotor mit Nebenschlußwicklung

1. Schaltung. Die Schaltung des Motors bei konstanter Betriebsspannung zeigt Fig. 163. Die Magnetwicklung bildet einen Nebenschluß zum Anker, und der durch die Magnetspulen fließende Strom

Fig. 163.



kommt aus derselben Stromquelle aus welcher der in den Anker fließende Strom herrührt. Wie bei den Dynamos mit Nebenschlußwicklung haben auch hier die Magnetspulen einen verhältnismäßig großen Widerstand. Ist der Widerstand der Magnetspulen, die meist zueinander in Serie geschaltet sind gleich  $w_m$ , so ist nach Fig. 163 der Strom in ihnen

$$i_m = \frac{E_p}{w_m},$$

wobei  $E_p$  die Polklemmen- bzw. Netzspannung ist. Der Energieverbrauch in den Magnetspulen ist aus

$$E_p i_m = i_m^2 \cdot w_m \text{ Watt.}$$

Bleibt die Netzspannung  $E_p$  konstant, so ändert sich der Strom  $i_m$  in den Magnetspulen nicht, wenn sich auch der Strom  $i_a$  im Anker entsprechend der Belastung des Motors ändert. Bleibt aber der Strom  $i_m$  in der Magnetwicklung konstant, so bleibt auch der magnetische Kraftlinienfluß im Anker unveränderlich. Daher wird sich der Motor mit Nebenschlußwicklung ähnlich wie der Motor mit Dauermagnet im Betrieb

erhalten. Zu beachten ist freilich, daß durch den Dauerbetrieb der Widerstand der Magnetwicklung infolge der Erwärmung etwas zunimmt, bei konstanter Spannung also  $i_m$  um ein Geringes abnehmen muß.

Die Anwendung der Elektromagnete bietet den Vorteil, daß wir sehr viel stärkere Felder erhalten als mit permanenten Magneten, und als die Stärke dieser Felder zur Regulierung der Tourenzahl des Motors verändert werden kann.

2. Energiegleichung des Nebenschlussmotors. Die Energiegleichung für den Nebenschlussmotor wird ähnlich derjenigen für den Motor mit permanenten Magneten sein, nur, daß noch Rücksicht auf den Energieverlust in der Magnetwicklung zu nehmen ist. Die Energiegleichung lautet also

$$(3) \quad A = E_p i - A_n + i_a^2 w_a + i_m^2 w_m + L,$$

wobei

$$i = i_a + i_m.$$

Um einen Einblick in die Energieverteilung in einem Nebenschlussmotor zu geben, benutzen wir folgendes Beispiel:

Ein Nebenschlussmotor hat die normale Leistung 8 P S. und arbeitet bei der Polklemmenspannung 110 Volt. Der Widerstand des warmen Ankers ist  $0,092 \Omega$ ; der Strom in der Magnetwicklung ist 1,4 Amp. Bei Leerlauf fließt durch den Anker der Strom  $i_a^0 = 5,5$  Amp., während bei der normalen Belastung der Anker den Strom  $i_a = 62,2$  Amp. aufnimmt.

Für den Leerlauf haben wir nach Gleichung 43

$$110 \cdot (5,5 + 1,4) = 5,5^2 \cdot 0,092 + 110 \cdot 1,4 + L,$$

da die Nutzleistung  $A_n = 0$  ist.

Beim Leerlauf ist der Energieverlust im Anker (2,8 Watt) so klein, daß er vernachlässigt werden kann

$$759 = 2,9 + 154 + L,$$

so daß der beim Leerlauf verbrauchten Energie 759 Watt entfallen etwa

1° auf die Unterhaltung der Magnetisierung (154 Watt) und

2° auf die Überwindung der passiven Widerstände wie Lagerreibung u. s. w. (602 Watt).

Die ganze beim Leerlauf verbrauchte Energie 759 Watt macht etwa 12,9 Proz. der normalen Leistung des Motors  $A_n = 8,736 = 5888$  Watt aus.

Für den Betrieb bei normaler Belastung haben wir im Anker den Energieverlust

$$i_a^2 \cdot w_a = 62,2^2 \cdot 0,092 = 356 \text{ Watt.}$$

in der Magnetwicklung werden verbraucht

$$E_p \cdot i_m = 110 \cdot 1,4 = 154 \text{ Watt.}$$

Abel ist der Widerstand der Magnetwicklung (einschließlich eines mit den Ankerpolen etwa in Reihe geschalteten Widerstandes)

$$w_m = \frac{110}{1,4} = 78,57 \Omega.$$

bei normaler Belastung der Motor

$$A = E_p i = 110 \cdot (62,2 + 1,4) = 6996 \text{ Watt}$$

verbraucht, so bleibt für die Nutzleistung

$$A_n = 6996 - (154 + 356 + 602) = 5884 \text{ Watt,}$$

so daß also  $A_n = 8 \text{ P. S.}$  Dabei ist vorausgesetzt, daß  $I$  mit der Belastung sich nicht ändert. Bei normaler Belastung mit 8 P. S. beträgt dabei der Energieverlust im Anker etwa 6 Proz. der Nutzleistung des Motors, und der Wirkungsgrad ist

$$\eta = \frac{A_n}{A} = 0,842.$$

3. Tourenzahl des Nebenschlußmotors und Regulierung derselben durch den Nebenschlußregulator. Wenn der in den Magnetspulen fließende Strom  $i_m$  und damit auch der Kraftlinienfluß  $\Phi$  im Anker konstant bleibt, so gilt das im Anschluß an die Gleichung 42 für Magnetmotoren ausgesprochene Gesetz auch für die Nebenschlußmotoren, bei denen der Widerstand der Ankerwicklung meistens sehr klein ist.

Wir finden also bei den Nebenschlußmotoren, daß bei konstanter Polklemmenspannung die Tourenzahl des Ankers vom Leerlauf bis zur normalen Belastung nur um 5 bis 6 Proz. abnimmt. Diese Gleichmäßigkeit der Umdrehungszahl des Ankers bei Änderungen der Belastung gibt dem Nebenschlußmotor seine Bedeutung, da wohl die meisten Kraftkonsumstellen mit wechselndem Kraftbedarf arbeiten, aber die Tourenzahl doch stets einen gewissen Betrag behalten soll.

Meistens wird mit der Magnetwicklung in Reihe, wie bei den Nebenschlußdynamos, ein regulierbarer Widerstand geschaltet, wodurch die Stromstärke im Nebenschluß und damit auch der magnetische Kraftlinienfluß im Anker geändert werden kann. Wird durch den Nebenschlußregulator Widerstand eingeschaltet, so nimmt  $\Phi$  ab, und die Tourenzahl des Ankers steigt nach der Gleichung 42 bei konstanter Betriebsspannung  $E_p$  an. Den Tourenabfall zwischen Leerlauf und normaler Belastung kann man demnach durch eine Verringerung der Feldstärke mittels des Regulierwiderstandes beseitigen. Überhaupt kann man durch Veränderung der Feldstärke mittels des Regulators im Nebenschluß die Tourenzahl des Motors meist um etwa 10 bis 20 Proz. des normalen Betrages verändern.

Natürlich kann durch weitere Vergrößerung des im Nebenschluß eingeschalteten Widerstandes die Tourenzahl noch mehr als 20 Proz. über die normale erhöht werden. Dabei ist jedoch zu beachten, daß in dem Maße, wie  $\Phi$  abnimmt, die Ankerstromstärke zur Erhaltung der Zugkraft zunehmen muß. Von Siemens u. Halske, A.-G., Berlin, und anderen Firmen werden Motoren geliefert, bei denen eine Änderung der Tourenzahl im Verhältnis 1 : 2 durch Änderung des Stromes in der Magnetwicklung möglich ist; Belastungsänderungen haben dabei auf die einmal eingestellte Geschwindigkeit geringen Einfluß (vergl. S. 143).

Von der Änderung der Tourenzahl des Motors durch Einwirkung auf den Nebenschlußregulator wird bei der von der Union Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, konstruierten elektrischen Steuermaschine (Fig. 164)



Gebrauch gemacht. Dieselbe besteht aus zwei ständig in umgekehrter Drehungsrichtung rotierenden Motoren von je 50 P.S., die auf ein Differentialgetriebe in solcher Weise arbeiten, daß die Differentialwelle stillsteht, solange die Anker der Motoren gleiche Umdrehungszahl haben, jedoch in Drehung versetzt wird.

Fig. 164.



sobald die Umdrehungszahlen beider Anker untereinander variieren. Die Differenz der Umdrehungszahlen wird in weiten Grenzen allein durch Änderung des Stromes in den Magnetspulen bewirkt, wobei nur nötig ist, von der Kommandostelle drei Leitungen zu verlegen nach dem im Ruderhaus aufgestellten Ruderlenker, der ein mehrstufiger Regulierwiderstand ist. Die Änderung der Feldstärke findet bei beiden Motoren stets im entgegengesetzten Sinne statt, d. h. wird die Tourenzahl des einen erhöht, so wird die des anderen gleichzeitig erniedrigt.

Gegen die Einführung dieser Steuermaschine ist geltend gemacht: 1. die nicht unerhebliche Leerlaufarbeit der Motoren auch bei der Ruhelage des Steuers und 2. das Gewicht der ganzen Anordnung.

Über die Hauptstromregulierung der Tourenzahl siehe S. 124.

4. Zugkraft. Solange die Feldstärke des Nebenschlußmotors konstant ist, bleibt das vom Anker ausgeübte Drehungsmoment nach der Gleichung 40 proportional der Stärke  $i_a$  des in den Anker fließenden Stromes. Dabei sind Zugkraft und Drehungsmoment des Ankers durch die maximale Ankerstromstärke begrenzt, welche mit Rücksicht auf die Erwärmung zulässig ist. Überschreitet man, insbesondere während des Anlaufens unter Belastung, kurze Zeit die normale Betriebsstrom-

stärke, so wird die Zugkraft des Ankers in demselben Maße größer als die normale Zugkraft, wie die während des Anlaufens zugelassene Stromstärke größer ist als die Ankerstromstärke bei normaler Belastung. Für kurze Zeit während des Anlaufes kann wohl die Ankerstromstärke zur Erhöhung der Zugkraft auf den 1,5- bis 2fachen Wert der normalen gebracht werden.

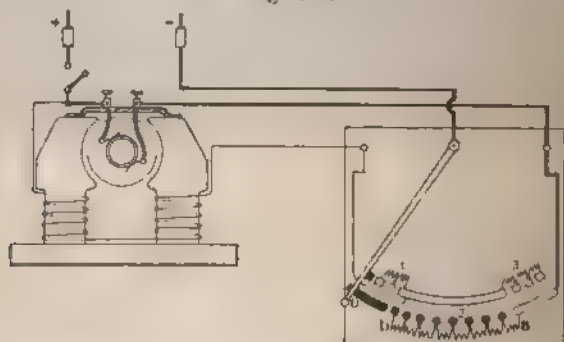
§ 49. Anlaufwiderstand für den Nebenschlußmotor. Beim Einschalten würde, nach den Bemerkungen auf S. 114, durch direkte Verbindung der Bürsten mit dem Netze im Anker ein Strom entstehen, bei welchem der Anker verbrennen, oder mit solchem Ruck anlaufen würde, daß Drahtbrüche in der Wicklung entstanden.

Fig. 165 zeigt einen Anlaufwiderstand in Verbindung mit dem Nebenschlußmotor.

Das Anlassen muß so erfolgen, daß stets zuerst der Magnetstrom, und dann der Ankerstrom eingeschaltet wird. Beim Ausschalten wird dagegen zuerst der Ankerstrom und dann erst der Strom in der Magnetwicklung unterbrochen.

Steht die Kurbel des Anlassers auf 0, so ist der Motor ausgeschaltet. Beim Inbetriebsetzen wird zuerst die Magnetwicklung allmählich durch den Widerstand 1 eingeschaltet, dann erst der Anker, welchem zunächst die

Fig. 165.



Widerstände 2 vorgeschaltet sind. Steht die Kurbel bei  $\alpha$ , so ist der Motor im Betriebe mit voller Tourenzahl. Die Kurbel hat dabei metallische Berührung sowohl mit der inneren, wie mit der äußeren Reihe der Kontakte. Der Widerstand 3 dient beim Bewegen der Kurbel über  $\alpha$  hinaus zum Regulieren der Feldstärke bzw. der Tourenzahl des Ankers.

Beim Einschalten wird die Kurbel langsam über die Kontakte bewegt. Ist die Kurbel bei  $\delta$  angekommen, so muß der Anker anlaufen. Beim Ausschalten wird die Kurbel von  $\alpha$  nach 0 zurückgedreht. Dabei wird der Anker so viel Widerstand vorgeschaltet, daß die Stromstärke in ihm auf einen kleinen Betrag sinkt, und das Ausschalten des Ankers mit sehr schwacher Funkenbildung verbunden ist. Dagegen wird beim Ausschalten der Feldmagneten, wenn die Kurbel von 1 auf 0 übergeht, wegen der sehr Selbstinduktion in den Magnetspulen eine sehr hohe Induktionsspannung erzeugt, die leicht den 8- bis 10fachen Betrag der Betriebsspannung

men kann und in kurzer Zeit eine Beschädigung der Isolation der Spulen oder ein Durchschlagen der Isolation der Bewicklung zur Folge haben kann, was abgesehen davon, daß der kräftige Öffnungsstoß stark die Metallkontakte des Anlagers beschädigt.

Vorteilhafter ist es daher, die Schaltung des Anlagers mit dem Motor so anzuordnen, daß beim Ausschalten des Motors eine Unterbrechung des Magnetstromkreises überhaupt nicht eintritt, indem nach dem Ausschalten die Magnetspulen mit dem Anker einen geschlossenen Stromkreis bilden.

Fig. 166 stellt eine solche Anordnung dar, bei der die Magnetspulen und der Anker gleichzeitig eingeschaltet werden, da das eine Ende der Magnetspulen am ersten Kontakte des Anlagers anhebt. Der in Fig. 166 dargestellte Anlasser ist einfacher als der vorige. Ist der ganze Anlaufwiderstand ausgerückt, so ist der Widerstand des Nebenschlusses um den Wider-

Fig. 166.

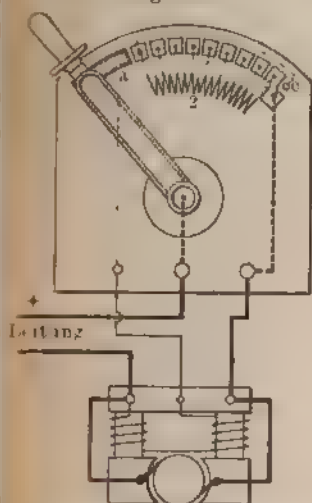
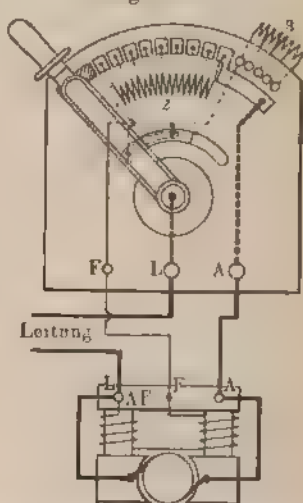


Fig. 167.



stand des Anlagers vergrößert, und also wird die Stromstärke im Nebenschluß während des Anlassens, freilich nur sehr wenig, verringert. Bei der in Fig. 166 dargestellten Anordnung der Deutschen Elektrizitäts-Werke zu sehen, berührt der Hebel in der Endstellung noch einen Kontakt c, der mit dem Anfangskontakt verbunden ist. Dadurch wird wieder der Widerstand des Anlagers aus dem des Nebenschlusses beseitigt.

Man führt den Anlaufwiderstand zweckmäßig so aus, daß bei der Einstellung auf dem ersten Kontakt die volle Betriebstromstärke durch den Anker geht. Bei dem auf S. 119 behandelten Nebenschlußmotor müßte also der Widerstand des Anlagers  $\frac{110}{62} = \sim 1,8 \Omega$  sein. Dieser Widerstand würde

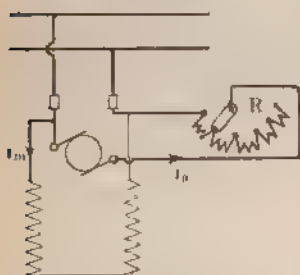
der Magnetwicklung von  $78,6 \Omega$  bei der Anordnung Fig. 166 zugeschaltet, durch der Magnetstrom nur unmerklich geändert wird. Beim Ausschalten wird die durch die Selbstinduktion in den Magnetspulen hervorgerufene Spannung sich durch die Magnetwicklung, den Anker, und den Wider-

stand des Anlassers, die in Hintereinanderschaltung einen geschlossenen Stromkreis bilden, ausgleichen.

Fig. 167 stellt einen Anlasser mit Nebenschlußregulierung dar nach der Konstruktion der Deutschen Elektrizitätswerke in Aachen. Bei zu großer Schwächung des Magnetstromes wird das vom Anker hervorgerufene Magnetfeld gegenüber dem vom Magneten herrührenden Felde zu schwach, und es tritt leicht eine starke Funkenbildung am Kollektor auf.

§ 50. Andere Methoden der Änderung der Tourenzahl der Nebenschlußmotoren. 1. Hauptstromregulierung der Tourenzahl. Die Regulierung der Tourenzahl des Motors kann auch dadurch geschehen, daß in der Zuleitung (Fig. 168) zum Anker ein regulierbarer Widerstand  $R$ , wie der Widerstand 2 des Anlassers (Fig. 166 und 167), eingeschaltet wird. Je mehr Widerstand der Anker vorgeschaltet wird, desto geringer ist die Bürstenspannung des

Fig. 168



Motors, und auf eine um so kleineren Gegenspannung braucht sich der Motor einzulassen (Hauptstromregulierung). In bei wirkt jedoch an den Enden der Nebenschlußwicklung die volle Netzspannung. Die höchste Tourenzahl hat der Anker, wenn der ganze ihm vorgeschaltete Widerstand ausgeschaltet ist. Durch die Hauptstromregulierung kann die Tourenzahl also unter den normalen Betrag gebracht werden. Ist der Widerstand  $r$  in der Hauptleitung eingeschaltet, so entsteht ihm der Verlust  $i^2 r$  Watt. Der Widerstand 2 (Fig. 166 u. 167) kann für diese Regulierung benutzt werden, wenn der Querschnitt der Widerstandsspiralen für Dauerstrom von vornherein berechnet ist. Bei den gewöhnlichen Anlassern ist letzteres meistens nicht der Fall, so daß der Hebel des Anlassers (Fig. 166) entweder bei  $a$  oder bei  $b$  steht, aber jedes Anhalten desselben auf einer Zwischenstellung vermieden werden muß.

2. Änderung der Tourenzahl durch Änderung der Betriebsspannung. Bleibt die Stromstärke in den Magnetspulen also auch  $\Phi$  konstant, so ändert sich die Tourenzahl des Ankers nach der Gleichung 42 annähernd im gleichen Verhältnis mit  $E_b$ , d. h. also die Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten vom doppelten Betrag etwa 150 Volt, auf die Hälfte 75 Volt reduziert, während die Erregung des Feldmagneten sich nicht ändert, so braucht sich der Anker im zweiten Falle nur auf die Gegen-E.M.K. 75 Volt einzulassen, was also nur etwa halb so viel Umdrehungen als bei 150 Volt. Diese Art der Regulierung setzt voraus, daß man zwei verschiedene Spannungsdifferenzen zur Verfügung hat wie bei dem Dreileitersystem (§ 126), wo die Spannungen 220 Volt und 110 Volt zur Verfügung stehen.

Für die Blaser<sup>1)</sup> auf den Kriegsschiffen „Kearmarge“ und „Kentucky“ 12 P. S.-Motoren mit Nebenschlußwicklung aufgestellt. Durch Regulierung des Stromes in den Magnetspulen, zwischen deren Enden die Spannung 50 Volt wirkt, kann die Geschwindigkeit bei 160 Volt Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten von 500 auf 400 Umdrehungen des Ankers vermindert werden. Erniedrigt man die Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten auf 10 Volt, so sinkt die Tourenzahl des Ankers auf etwa 200.

Ebenso können auch die Motoren für die Bootkräne auf den beiden genannten Kriegsschiffen auf 160 Volt oder 80 Volt geschaltet werden.

Hierher gehört auch eine Methode der Regulierung der Tourenzahl, die an den Nebenschlußmotoren zur Anwendung gebracht ist, die auf Kriegsschiffen zum Drehen der Panzertürme und Geschütze dienen. Zur Stromerzeugung wird eine Nebenschlußdynamo benutzt, die ausschließlich den Strom für den betreffenden Motor liefert, der mit einem Strom von konstanter Stärke aus dem Leitungsnetz für die Beleuchtung erregt wird. Am Aufstellungsorte des Motors befindet sich der Nebenschlußregulator der Dynamo, durch welchen die Betriebsspannung des Motors in weiten Grenzen verändert werden kann.

§ 51. Umkehranlasser (Wendeanlasser). Beim Betriebe von Kranen, Winden, Fahrzeugen u. s. w. wird eine Umkehrung der Drehungsrichtung des Motors gefordert. Diese

Fig. 169.

Umkehrung kann entweder dadurch erreicht werden, daß der Strom am Anker umgekehrt wird, während die Magnetspole dieselben bleiben, oder dadurch, daß der Strom in den Magnetspulen umgekehrt wird, während der Ankerstrom seine Richtung behält. Im letzteren Falle ist bei der Konstruktion des Umkehranlasserwiderstandes besonders darauf zu achten, daß die Umkehrung des Stromes in den Magnetspulen möglichst funkenfrei vollzogen wird.

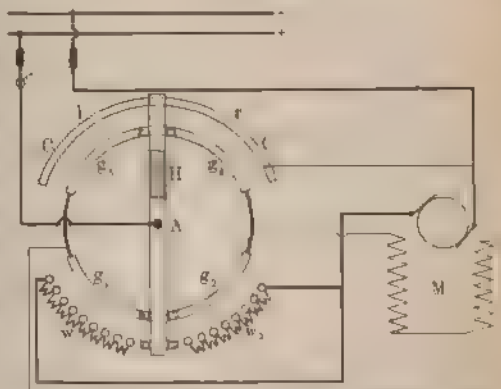


Fig. 169 stellt die Schaltung eines Umkehranlasserwiderstandes dar.

Durch Drehen des Hebels nach rechts oder links kann der Strom in der Magnetwicklung M umgekehrt werden, während bei beiden Drehungs-

<sup>1)</sup> Vergl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 44. 1898 und 1899.

richtungen des Hebels  $H$  der Strom im Anker dieselbe Richtung hat. In beiden Enden des um  $A$  drehbaren Hebels schleifen gleichzeitig auf den beiden concentrisch angeordneten Kontakten.  $g_1$  und  $g_2$ , sowie  $g_3$ , und sind durch Zwischenstücke aus Isoliermaterial voneinander getrennt. Beim Anlassen ist stets einer der Widerstände  $w_1$  oder  $w_2$  dem Anker vorgeschaltet. Die beiden Enden des Hebels sind durch ein scharfgezeichnetes Zwischenstück  $H$  voneinander isoliert. Dreht man den Hebel nach rechts, nachdem der Ausschalter  $a$  geschlossen ist, so geht von der  $+$  Leitung

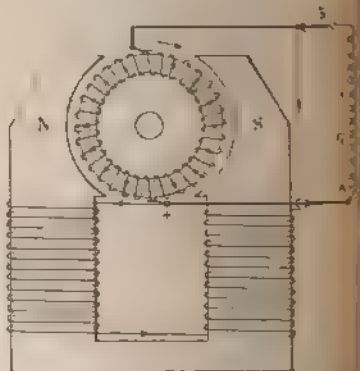
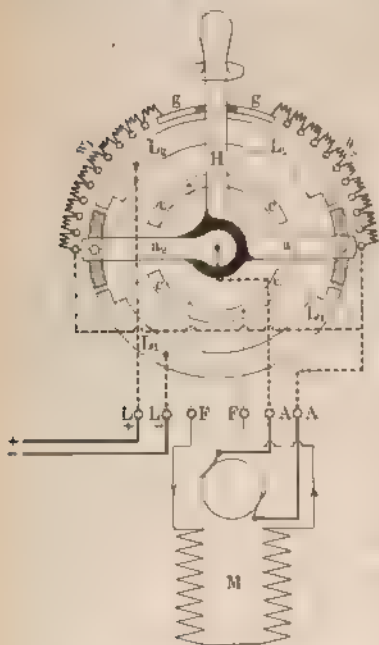
der Magnetstrom	$\left\{ \begin{array}{l} \text{nach } A, \text{ über } g_1 \text{ zur Magnetwicklung } M \text{ und dann} \\ \text{nach } g_2, \text{ von dort zur Schiene } CC \text{ und zurück zur} \\ \text{— Leitung} \end{array} \right.$
der Ankerstrom	$\left\{ \begin{array}{l} \text{nach } A, \text{ durch } w_1 \text{ in den Anker und dann zurück} \\ \text{zur — Leitung.} \end{array} \right.$

Dreht man den Hebel  $H$  nach links, so ist die Stromrichtung in den Magnetspulen umgekehrt.

Fig. 170 stellt die Schaltung eines Wendeanlassers dar, bei welchem der Strom in der Ankerwicklung umgekehrt wird. Mit dem Hebel  $H$  ist

Fig. 170.

Fig. 171.



die beiden Arme  $a_1$  und  $a_2$  miteinander verbunden, wobei der letztere arm  $a_2$  gegen  $H$  als gegen  $a_1$  isoliert ist. Der Hebel  $H$  schließt auf  $g_1$  und  $g_2$  den Kontakten der Widerstände  $w_1$  und  $w_2$ , während die Arme  $a_1$  und  $a_2$  auf den Kontaktstücken  $c_1$  und  $c_2$  liegen. Die Widerstände  $w_1$  und  $w_2$  sind dem Anker vorgeschaltet. Wird  $H$  nach rechts gedreht, so geht von  $L_2$  der Strom nach  $L_3$  und dann

1. über  $a_2$  durch den Anker und  $w_2$  nach  $H - a_1$  und von  $L_1$  nach  $L_2$ .
2. durch  $a_1$  nach  $c_1$ , dann durch  $M$  und von  $c_2$  durch  $a_2$ , ebenfalls nach  $L_1$ .

Wird  $H$  nach links gedreht, so fließt der Strom zunächst durch  $w_1$ , dann durch den Anker. Der in Fig. 170 dargestellte Anlasser kann auch zur Regulierung der Tourenzahl durch Änderung des Stromes in den Magnetspulen eingerichtet werden nach dem auf S. 120 besprochenen Verfahren.



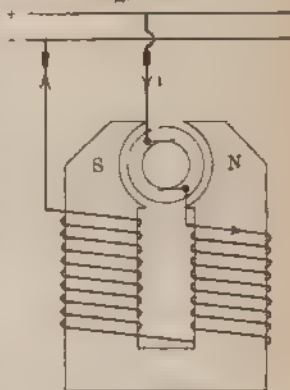
§ 52. Vergleich der Drehungsrichtung des Ankers bei der Nebenschlußdynamo und dem Nebenschlußmotor. Fig. 171 zeigt eine Nebenschlußdynamo dar, die auf den Widerstand  $w$  arbeitet. Der Stromlauf ist dabei durch Pfeile angedeutet. Wird  $w$  fortgenommen und sofort  $K_+$  mit dem positiven Pol einer anderen Stromquelle, etwa einer Akkumulatorenbatterie, verbunden und ebenso  $K_-$  mit dem negativen Pol derselben Stromquelle, so arbeitet die Maschine als Motor. Wir setzen dabei voraus, daß die Polklemmenspannung des Akkumulators um einige Volt höher ist als die der Dynamo. Die Stromrichtung im Anker wird dabei umgekehrt, während der Strom in den Magnetspulen seine Richtung beibehält. Solange die Maschine als Dynamo auf den Widerstand  $w$  arbeitet, werden die vom Strom durchflossenen Ankerdrähte entgegen den vom Felde ausgeübten Kräften (vergl. § 19) durch die Ertragsmaschine vorwärts getrieben. Wenn in der angegebenen Weise die Dynamo zum Motor wird, so bleibt trotz der Umkehrung des Stromes in den Ankerleitern die Drehungsrichtung dieselbe. Dies ist besonders wichtig für diejenigen Fälle, wo zwei oder mehrere Nebenschlußdynamos parallel geschaltet sind (vergl. § 129) oder die Dynamo zum Laden einer Akkumulatorenbatterie dient.

§ 53. Der Hauptstrom- oder Serienmotor. Auch hier wollen wir den Betrieb mit konstanter Spannung ausschließlich ins Auge fassen.

1. Schaltung. Bei diesem Motor (Fig. 172) fließt derselbe Strom  $i$  ineinander durch den Anker und durch die Magnetspulen ( $i = i_a = i_m$  nach der Bezeichnung des § 48). Sobald sich also die Stromstärke in der Ankerwicklung des Motors ändert, wird auch die Stromstärke in den Magnetspulen und damit auch die Feldstärke verändert. Während der Nebenschlußmotor im Betriebe mit konstanter Spannung ein fast konstantes Magnetfeld hat, ändert sich bei demselben Betriebe im Hauptstrommotor die Feldstärke mit der Belastung des Motors.

2. Anlassen und Zugkraft des Motors. Während der kurzen Zeit des Anlaufes kann auch hier die Stromstärke auf das Doppelte der normalen Betriebsstromstärke erhöht werden. Dieser kräftige Strom beim Anlauf fließt durch Anker und Magnetspulen. Nach der Gleichung 40 werden also beim Anlauf des Hauptstrommotors ein kräftiges Drehmoment entstehen, da sowohl  $\Phi$  als auch  $i = i_a$  einen möglichst hohen Wert hat.

Fig. 172.





Der Hauptstrommotor hat also die Eigenschaft, mit großer Zugkraft anzulaufen.

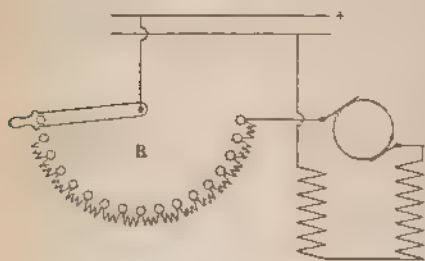
Zum Anlassen des Hauptstrommotors dient der in Fig. 173 dargestellte Widerstand  $R$ .

Nimmt ein Serienmotor während des Anlaufes vorübergehend das Anderthalbfache der normalen Betriebsstromstärke auf, so steigt seine Zugkraft etwa auf den doppelten Betrag der normalen Zugkraft. In der folgenden Tabelle ist für den gewöhnlichen Serienmotor der Zusammenhang zwischen Zugkraft, Umlaufzahl und Leistung zusammengestellt:

Bei dem . . . .	2,5	1,8	1,0	0,80	0,80	0,10-fachen der normalen Zugkraft
erhält man das	0,75	0,90	1,0	1,16	1,41	1,92-fache der normalen Tourenzahl
bei dem . . . .	1,9	1,5	1,0	0,70	0,43	0,20-fachen der normalen Leistung

Bei vorübergehender Verdoppelung der Stromstärke leistet der Motor erheblich mehr als die doppelte Zugkraft; dabei ist mit Rücksicht auf die

Fig. 173.



und ohne Stöße auch bei großer Überlastung anzieht, so findet er besonders bei Straßenbahnwagen, Kranen, Aufzügen usw. Verwendung, überhaupt in allen solchen Fällen, wo ruhende und schwer in Bewegung zu setzende Massen angetrieben werden sollen.

3. Energiegleichung des Hauptstrommotors. Ist  $i$  die Stärke des durch den Anker fließenden Stromes und  $E_p$  die Klemmenspannung oder die Netzspannung, wenn die Zuleitung vom Netz zum Motor sehr geringen Widerstand hat, so ist

$$(44) \quad E_p = E + i(w_a + w_m),$$

nachdem der Widerstand des Anlassers ausgeschaltet ist, wobei  $w_a$  der Ankerwiderstand und  $w_m$  der Widerstand der Magnetspulen ist. Der Energieverbrauch des Motors ist ferner  $A = E_p \cdot i$  Watt.

Der Energieverlust im Anker  $= i^2 w_a$  Watt.

„ „ in den Magnetspulen  $= i^2 w_m$  „

Bezeichnet  $L$ , wie früher, den Energieverlust durch Lagerreibung u. so ist

$$E_p i = A = A_n + i^2(w_n + w_m) + L.$$

Damit der Energieverlust in den Magnetspulen bei dem normalen Betriebsstrom möglichst gering ausfällt, wird die Magnetwicklung, wie bei den Seriendynamos, mit geringem Widerstande  $w_m$  hergestellt. Beim Nebenschlußmotor ist der Energieverlust in den Magnetspulen von der Leistung des Motors fast unabhängig; beim Serienmotor dagegen nimmt dieser Verlust mit der Leistung des Motors zu.

4. Tourenzahl des Hauptstrommotors und Regulierung derselben. Um die Abhängigkeit der Tourenzahl von der Belastung zu erkennen, haben wir früher (siehe S. 118) darauf hingewiesen, daß der Anker des Motors bei Belastung und Leerlauf eine solche Tourenzahl annimmt, daß bei der in ihm induzierten Gegen-E.M.K. =  $E$  ein solcher Strom durch den Anker fließt, daß gerade die der Bewegung des Ankers entgegenstehenden Widerstände überwunden werden. Letztes ist ein Betrieb mit konstanter Spannung vorausgesetzt. Ist der Motor normal belastet, und verringern wir die Belastung, so nimmt die Ankerstromstärke ab, die Gegen-E.M.K. steigt an. Während aber beim Nebenschlußelektromotor bei der Änderung der Belastung die Feldstärke fast konstant bleibt, nimmt beim Serienmotor mit abnehmender Belastung auch die Feldstärke ab.

Wir fanden früher nach der Gleichung (42), daß die Tourenzahl dem Kraftlinienfluß  $\Phi$  im Anker umgekehrt proportional ist. Entlastet man den Hauptstrommotor, so nimmt die Stromstärke ab, das Magnetfeld wird schwächer, und daher steigt die Tourenzahl bedeutend an (vergl. Tabelle S. 128). Würde ein Hauptstrommotor plötzlich ganz entlastet, so wird wegen der geringen Feldstärke die Tourenzahl außerordentlich ansteigen, bei Leerlauf hat der Anker des Serienmotors das Bestreben, durchzugehen. Der Hauptstrommotor ist also nur dort zu verwenden, wo Belastungsschwankungen möglichst vermieden werden. Man verwendet ihn meist in direkter und unlösbarer Kuppelung — nicht in Remontantrieb — mit den Maschinen, welche er antreiben soll, und auch dann nur, wenn beim Leerlauf der Maschinen noch immer eine ausreichend große Leerlaufarbeit vom Motor zu verrichten ist.

Wird jedoch der Hauptstrommotor überlastet, so steigt die Stromaufnahme und damit auch die Feldstärke. Bei Überlastung läuft der Hauptstrommotor wesentlich langsamer als bei normaler Belastung (siehe Tabelle auf S. 128).

Auch durch Vorschalten eines Widerstandes  $r$ , wie in Fig. 173, wird die gefährliche Anwachsen der Tourenzahl des Hauptstrommotors bei Abnahme der Belastung nicht verhindert. Der Strom im leer laufenden Motor ist so gering, daß der Spannungsverlust  $ir$  nur klein ausfällt, wenn  $r$  nicht einen sehr hohen Betrag hat. Ist  $r$  nicht sehr groß, so unterscheidet sich die Klemmenspannung des Motors nur wenig von der Netzspannung.

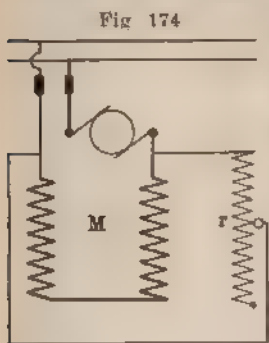
## Regulierung der Tourenzahl des Serienmotors.

1. Durch vorgeschalteten Widerstand. Die Tourenzahl des belasteten Motors kann man durch Vorschalten von Widerstand, was am einfachsten mit dem Anlasser selbst (nach Fig. 173) geschehen kann, weit unter die normale Umlaufzahl bringen. Ist der Widerstand  $r$  dem Motor vorgeschaltet, so hat die Gegen-E.M.K. =  $E$  den Wert

$$E = E_p - i(w_a + w_m + r).$$

Wird  $r$  vergrößert, so nimmt  $E$  ab, d. h. der Anker nimmt eine geringere Umlaufzahl an, um die erforderliche Gegen-E.M.K. zu erzeugen. Durch passende Vergrößerung von  $r$  bei abnehmender Belastung kann man innerhalb eines gewissen Belastungsbereiches immerhin die Tourenzahl konstant halten.

2. Durch den Parallelregulator. Hierbei ist der Magnetwicklung  $M$  ein regulierbarer Widerstand  $r$  (Fig. 174) parallel geschaltet. Bei der geringsten Tourenzahl soll



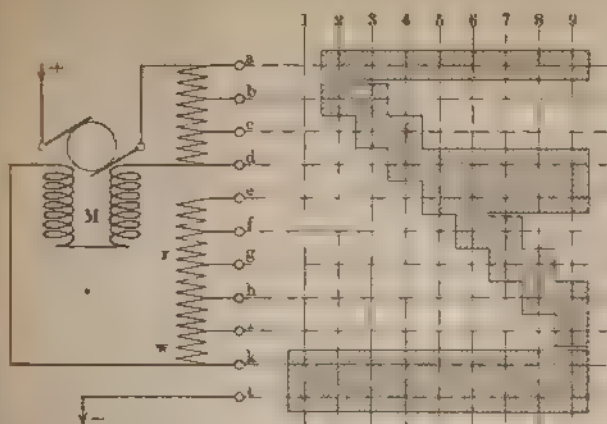
$r$  abgeschaltet sein, so daß also der Widerstand des Nebenschlusses zur Magnetwicklung unendlich groß ist. In diesem Fall fließt durch den Anker derselbe Strom  $w_a$  in den Magnetspulen. Wird nun der Nebenschluss  $r$  angelegt, so nimmt derselbe einen Teil des Ankerstromes auf, der nicht zur Erregung der Feldmagnete verwendet wird. Die Stromstärken in der Magnetwicklung und im Nebenschluss  $r$  stehen im umgekehrten Verhältnis der Widerstände beider. Je kleiner der Widerstand

des Nebenschlusses, desto geringer die Feldstärke des Motors und desto größer die Tourenzahl des Ankers [siehe Gleichung (42)]. Die Verringerung des Widerstandes des Parallelregulators darf nur bis zu einer gewissen Grenze geschehen, die der höchsten zulässigen Tourenzahl des Ankers entspricht.

Konstruktiv wird die Regulierung meist so ausgeführt, daß auf einer vertikal stehenden Walze aus Isoliermaterial bestimmt geformte Kontakte vorhanden sind, welche (Fig. 175) in neun Stellungen zu den Kontaktfedern  $a - i$ , welche feststehen und vertikal übereinander liegen, gebracht werden können. Die Widerstände von  $a - d$  dienen zum Anlassen. In Fig. 175 ist die Oberfläche der drehbaren Walze in eine Ebene abgeflacht, die Kontaktflächen sind schraffiert. Liegt die Walze in der Linie 1 gegen die Kontaktfedern  $a - i$ , so geht der Motor an. Wird die Walze gedreht, so wird der Widerstand stufenweise ausgeschaltet. Von der Stellung 5 ab sind die Kontaktfedern  $d$  und  $e$  miteinander verbunden, so daß der Nebenschluss  $r$  zu  $M$  parallel geschaltet wird. In Übereinstimmung mit dem oben

Erkten kann (bei der Stellung 9) der Widerstand des Parallelregulators  
 ab kleiner als  $w$  werden. Durch federnde Klappen wird dafür gesorgt.

Fig. 175.



die Walze nur in den Stellungen 1 bis 9 zu den Kontaktfedern steht,  
 Zwischenstellungen aber unterbleiben.

Gebräuchlicher als diese Regulierung ist diejenige

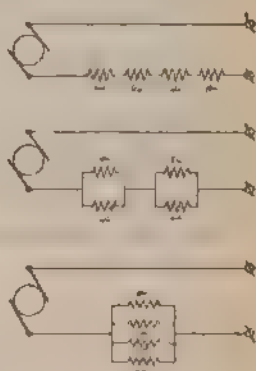
3. durch die Umschaltung der Magnetspulen, welche bei  
 Straßenbahnmotoren, Kranmotoren u. s. w. mit dem Kontroller  
 geführt wird. Wir setzen einen vier-  
 igen Elektromotor mit vier Magnetspulen  
 raus. Die Magnetspulen sind entweder  
 (Fig. 176)

1. alle vier hintereinander, oder
2. zu zweien parallel geschaltet, oder
3. alle vier parallel geschaltet.

Bei dieser Umschaltung wird freilich  
 der elektrische Widerstand des Motors ge-  
 ändert. Um die Wirkungsweise der drei  
 Schaltungen zu vergleichen, wollen wir an-  
 nehmen, daß in allen drei Fällen die Stärke  
 des durch den Motor fließenden Stromes  
 dieselbe und zwar gleich  $i$  sei. Hat jede Spule  
 $m$  Windungen, so ist die Zahl der Ampere-  
 windungen des Feldmagneten

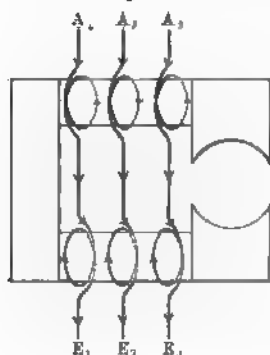
$$\begin{aligned}
 &\text{im ersten Falle} \quad . . . . . 4 \cdot m \cdot i, \\
 &\text{„ zweiten Falle} \quad . . . . . 4 \cdot m \cdot \frac{i}{2} = 2 m i \\
 &\text{„ dritten Falle} \quad . . . . . 4 \cdot m \cdot \frac{i}{4} = m i.
 \end{aligned}$$

Fig. 176.



Bei der Parallelschaltung der Spulen ist also die Feldstärke am kleinsten, der Anker muß also in diesem Falle die größte Tourenzahl annehmen, um sich auf den Betrag jener Gegen-E.M.K. einzulassen, bei der nur der Strom  $i$  durch den Motor fließt. Bei der Parallel-

Fig. 177.



schaltung der Spulen hat jedoch der Anker die kleinste Zugkraft nach der Gleichung (40). Bei Serienschaltung der Spulen ist dagegen das Magnetfeld des Motors am stärksten, die Tourenzahl am kleinsten und die Zugkraft am größten.

Konstruktiv führt man die Umschaltung der Magnetpulen meist folgendermaßen aus: Die beiden Magnetpulen eines zweipoligen Elektromotors seien nach Fig. 177 in drei gleiche Abteilungen zerlegt, deren Enden  $A_1, A_2, A_3$  und  $E_1, E_2, E_3$  zu sechs vertikal übereinander angeordneten und feststehenden Kontakten geführt sind. Den Kontakten gegenüber steht eine vertikale und isolierte Walze, auf deren Oberfläche Kontaktstücke angebracht sind, welche bei

Abwicklung der Walzenoberfläche die in Fig. 178 dargestellte Form haben. Mittels einer Kurbel kann die Walze nur in die Stellungen 0 bis 7 zu den feststehenden Kontakten gebracht werden. Der Kontakt  $A_1$  ist mit der

Fig. 178a.

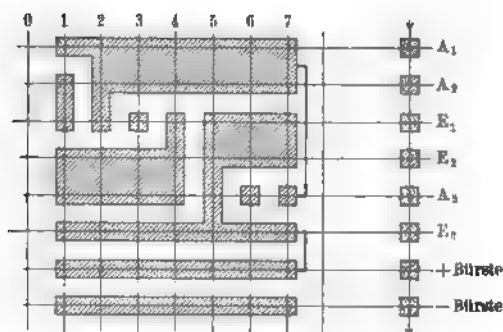
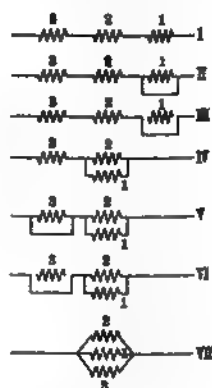


Fig. 178b.



Stromzuführung (+ Leitung) durch den Anlaesser, wie in Fig. 173, verbunden; die negative Bürste mit der Stromableitung. Nachdem der Anlaßwiderstand ausgeschaltet ist, haben wir bei

- Stellung 1: Spulen 1, 2 und 3 in Reihe,  
 " 2: Spule 1 kurz geschlossen, 2 und 3 in Reihe,  
 " 3: " 1 ausgeschaltet, 2 und 3 in Reihe,  
 " 4: Spulen 1 und 2 parallel und beide mit 3 in Reihe,  
 " 5: " 1 " 2 " , 3 kurz geschlossen,  
 " 6: " 1 " 2 " , 3 ausgeschaltet,  
 " 7: " 1, 2 und 3 parallel.

Der Vorteil dieser Reguliermethode liegt darin, daß keine elektrische Energie ohne Nutzen in einem dem Motor vorgeschalteten Widerstande, wie z. B. 1, verbraucht wird. Von Nachteil ist dagegen die kompliziertere Montage, welche die Legung mehrerer sehr gut isolierter Leitungen vom Controller zum Motor nötig macht.

Benutzt man neben der hier beschriebenen Regulierung mittels Controller auch die unter 1. angegebene, so kann die Tourenzahl innerhalb seines sehr weiten Bereiches geändert werden.

4. Regulierung durch Umschalten der ganzen Motoren. Diese bei der gleichzeitigen Verwendung von zwei Motoren sehr wertvolle Methode der Regulierung besteht darin, daß

entweder beide Motoren in Reihe an ein Leitungsnetz mit der konstanten Spannung  $E_p$  geschaltet werden, so daß derselbe Strom durch beide Motoren fließt und jeder derselben mit der Betriebsspannung  $\frac{1}{2} E_p$  arbeitet,

oder beide Motoren zwischen den Hauptleitungen des Netzes parallel geschaltet werden, so daß für jeden die Spannung  $E_p$  zur Verfügung steht.

Ist  $i$  die Stromstärke im Motor im ersten wie im zweiten Falle, läuft sich der Anker im ersten Falle ein auf die

$$\text{Gegen-E.M.K.} = E_p / 2 - i \cdot (w_a + w_m),$$

im zweiten Falle auf die

$$\text{Gegen-E.M.K.} = E_p - i \cdot (w_a + w_m).$$

Im zweiten Falle ist die Gegen-E.M.K. fast doppelt so groß als im ersten, und dementsprechend ist nach der Gleichung (42)<sup>1)</sup> auch die Tourenzahl bei der Serienschaltung etwas weniger als die Hälfte derjenigen bei der Parallelschaltung. Jedem Motor ist außerdem, wie unter 1., noch ein regulierbarer Widerstand vorgeschaltet.

Um den meistens nicht unbeträchtlichen Teil an Energie, der bei Verwendung nur eines Motors in einem vorgeschalteten Regulierwiderstand nutzlos in Wärme verwandelt wird, in nutzbare Energie zu verwandeln, kann man ebenfalls zwei Motoren in Serie schalten. Auch bei Nebenschlußmotoren ist diese Schaltung ausführbar, wenn die Nebenschlußwicklungen beider Motoren entweder in Serie geschaltet oder einzeln an das Netz angeschlossen sind. Die beiden in Serie geschalteten Motoren vermögen dann bei demselben Energieaufwand annähernd doppelt so viel zu leisten wie bei Verwendung nur eines Motors mit vorgeschaltetem Widerstande (vergl. Geyer, Elektrische Kraftübertragung an Bord. Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft. III. Band, 1902. S. 125 u. ff.).

Diese Methode der Regulierung erlaubt bei den Motoren der elektrischen Bahnen durch die Serienschaltung ein langsames Anfahren mit großer

<sup>1)</sup> Diese Gleichung gilt auch für Serienmotoren, wenn an die Stelle von  $w_a$  die Summe  $w_a + w_m$  gesetzt wird.



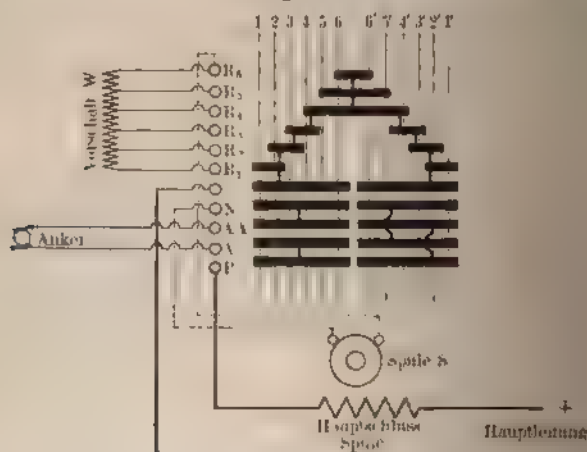
Zugkraft und ferner auf Strecken, die nur langsam durchfahren werden dürfen, eine Fortbewegung mit der halben Geschwindigkeit. Beim Schnellfahren werden die Motoren parallel geschaltet.

Geyer (vergl. I. c.) hat diese Schaltungsweise für den Spillbetrieb an S. M. S. „Ägir“ vorgeschlagen. Zum Ausbrechen des Ankers aus dem Meeresboden sind die Motoren in Reihe geschaltet, zum Aufwinden bedarf es einer geringeren Zugkraft, und die Motoren arbeiten dann in Parallelschaltung. Auch für die schweren Boots Heifemaschinen an Bord wird diese Schaltung in Vorschlag gebracht. In Rücksicht auf die Raum- und Gewichtsverhältnisse können beide Anker in einen vereinigt werden, so daß sich ein Doppelmotor mit zwei Kollektoren ergibt, von denen der eine rechts, der andere links vom Motor liegt und die für den Anzug in Serie, dagegen für den freien Hub parallel geschaltet arbeiten.

### Hauptstrommotoren mit Marine-Kontroller der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

Die Einrichtung des Kontrollers und die Verbindung desselben mit der Leitung und dem Motor ergibt sich aus Fig. 179. Die Kontakte  $P$  bis  $S$  stehen fest. Die Kontrollerwalze ist abgewinkelt dargestellt. Wird die Walze

Fig. 179.



in den Stellungen 1 bis 6 gegen die Kontakte gestellt, so wird allmählich der Vorschaltwiderstand ausgeschaltet. Ebenso für die Stellungen 1' bis 6' bei dieser Bewegung läuft der Anker aber in entgegengesetzter Richtung. Die Walze kann nur von 1 nach 6 und zurück, oder von 1' nach 6' zurück bewegt werden. Zum Ausblasen der beim Umschalten der Walze entstehenden Funken bringt man die Kontaktteile  $P$  bis  $R_6$  zwischen die Pole eines Magneten, der durch die Spule  $S$  kräftig erregt wird. Der Funken verhält sich dabei wie der in § 19 betrachtete Stromleiter im magnetischen Felde.

Die in Fig. 178 beschriebenen Kontrollen finden Anwendung bei elektrischen Deckkränen an Bord des Reichspostdampfers „Brent“ des Norddeutschen Lloyd (Fig. 180). Bei diesen Kränen ist das Hubwerk aus einem eingängigen Globoidschneckengetriebe bestehende Hubwerk



Der Hauptstrommotor (25 P.S., 900 Touren) starr gekuppelt, der bei geringerer Belastung eine entsprechend höhere Tourenzahl des Hakens hat, bis zum  $2\frac{1}{2}$ -fachen Betrage bei leerem Haken.

Der Motor für das Drehwerk (Drehmotor) 7 P.S. bei 700 Umdrehungen arbeitet mit doppelgängigem Schneckengetriebe und darauf basierender Zahnradübersetzung.

Beide Motoren (siehe Fig. 192) sind vollkommen wasserdicht gekapselt, Kollektoren sind nach Aufklappung von Schraubendeckeln zugänglich.

Infolge Selbstsperrung bei ruhender Last wird die auf der verlängerten Achse sitzende, mit Holz ausgefüllte Banubremse lediglich zum Ab-

Fig. 180.



bei der Last bei stromlosem Motor benutzt. Das sofortige Anhalten der maximalen Geschwindigkeit ablaufenden Last geschieht durch Auflagen der Last auf die Fußplatte der Bremse.

Für jeden Motor ist einer der vorhin beschriebenen Controller vorhanden. Beide Controller und somit beide Motoren werden durch einen

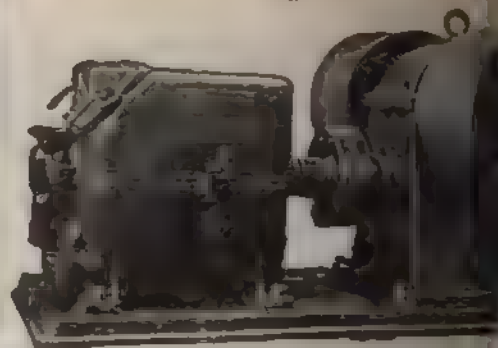
einzigsten Hebel gesteuert in der Art, daß durch Ablenkung des beweglichen Hebels aus seiner fixierten Mittelstellung die Bewegungen des Hakens genau vorgeschrieben sind. Fig. 181 zeigt diesen Mechanismus mit Universalsteuerung. Wird der Hebel in die obere Stellung gezogen, so geht die Last aufwärts, wird er gedrückt, so geht die Last abwärts. Bewegt man den Hebel in der Diagonale, so wird die Last gleichzeitig gedreht.

Fig. 181.



Aus besonderen Gründen (gleiche Reason für alle Krane, Erleichterung der Montage für alle Krane, die entweder für 3000 kg

Fig. 182



1500 kg konstruiert sind, dieselbe elektrische Ausrüstung gewählt. Krane gelten folgende Daten:

Nutzlast . . . . .	3000 kg	1500 kg
Ausladung . . . . .	3,5 m	5,5 m
Hubgeschwindigkeit bei voller Last . . . . .	0,38 m	0,63 m
„ „ „ „ „ Leerlauf . . . . .	0,6 — 0,75 m	1,1 — 1,2 m
Hubmotor . . . . .	25 P.S. 900 Touren	25 P.S. 900 T.
Drehgeschwindigkeit im Haken . . . . .	4 m in der Sek.	4 m in der Sek.
Drehmotor . . . . .	7 P.S. 700 Touren	7 P.S. 700 T.
Nutzeffekt des gesamten bewegten Kranes einschließlich Motor . . . . .	52 Proz.	—

Fig. 182 stellt eine Kohlenwinde dar, die durch einen 15 P.S. Gleichstrommotor angetrieben wird, wobei ebenfalls der Motorcontroller zur Anwendung kommt.

In Fig. 183 sind die Schiffswinden an Bord des Reichsdampfers „Prinz Heinrich“ des Norddeutschen Lloyd dargestellt. Anlassen und die Regulierung erfolgt durch einen dem Motor geschalteten Widerstand.

Für die meisten Anwendungen reicht, je nach den Anforderungen, ein Hauptmotor oder ein Nebenschlußmotor aus, die denn auch die weitestgehende Verwendung gefunden haben. Wir übergehen daher die Besprechung der Synchronmotoren.

Fig. 183.



§ 54. Betriebsverhältnisse und Prüfung der Elektromotoren. Bei der Prüfung handelt es sich zunächst um die Leistung des Motors. In Bezug auf letztere können nach dem vom Verbande deutscher Elektrotechniker probeweise aufgestellten Normalien folgende Arten des Betriebes unterschieden werden:

1. Der intermittierende Betrieb, bei dem auf kurze, nach Minuten zählende Arbeitszeiten ebenso lange Ruhepausen folgen (Möbel für Kräne, Aufzüge u. s. w.).

2. Der kurzzeitige Betrieb, bei welchem die Arbeitszeiten länger sind als beim intermittierenden Betriebe, jedoch noch zu kurz, daß der Motor die zulässige Endtemperatur erreicht. Die Ruhezeiten sind lang genug, damit die Temperatur wieder annähernd auf die der Umgebung sinken kann.

3. Der Dauerbetrieb, bei welchem die Arbeitszeit so bemessen ist, daß die Erwärmung bis zu der zulässigen Endtemperatur erfolgt.

Unter normalen Verhältnissen und bei einer Lufttemperatur unter  $55^{\circ}\text{C}$  dürfen die folgenden Werte der Temperatursteigerung bei isolierten Wicklungen und Kollektoren nicht überschritten werden:

bei Baumwollisolierung . . . . .  $50^{\circ}\text{C}$ .

„ Isolierung durch Glimmer, Asbest und ähnlichen Materialien . . . . .  $60^{\circ}\text{C}$

Bei ruhenden Wicklungen sind noch um etwa 10 Proz. höhere Werte zulässig.

Unter der normalen Leistung des Motors bei intermittierenden Betriebe versteht man diejenige, welche der Motor während eines einständigen ununterbrochenen Betriebes hervorbringen kann, ohne daß die vorher angegebene Temperaturzunahme erreicht wird.

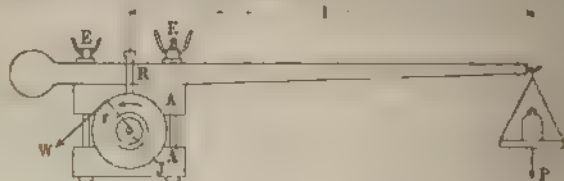
Als normale Leistung des Motors für kurzzeitigen Betrieb gilt diejenige, welche er für die auf dem Leistungsschild vermerkte Betriebszeit abgeben kann, ohne daß die Erwärmung die oben angegebenen Grenzen überschreitet.

Die normale Leistung eines Motors für Dauerbetrieb ist diejenige, welche während beliebig langer Betriebszeit hervorgebracht wird, ohne daß die Temperaturzunahme größer ist als oben angegeben.

Das am Motor angebrachte Leistungsschild soll neben der Angabe der mechanischen Leistung in P. S. die hierbei berücksichtigte Betriebsart enthalten, ferner Angaben über die normale Spannung, Stromstärke und Tourenzahl.

Die Leistung der kleineren Motoren wird entweder mit dem Bremsbande oder mit dem Pronyschen Zaun (Fig. 184) ermittelt.

Fig. 184



Zu diesem Zwecke wird auf die Welle eine Bremscheibe gebracht gegen welche die Bremsbucken  $A - A$  aus Holz sich legen, die durch Bolzen verbunden sind und mit den Schrauben  $E - E$  an die Scheibe gepreßt werden können. Der obere Bremsklotz trägt einen Hebel, an dessen Ende eine Schale zur Aufnahme von Gewichten sich befindet.

Man läßt den Motor bei der vorgeschriebenen Betriebsspannung laufen und zieht die Schrauben so weit an, bis der Anker die vorgeschriebene Tourenzahl macht, was durch wiederholt vorgenommene Messungen ermittelt wird. In der Hauptleitung, sowie eventuell in dem Nebenschlusse sind Strommesser eingeschaltet. Je nach der oben erwähnten Betriebsart muß die Dauer der Untersuchung gewählt werden, bei Dauerbetrieb wird meistens ein sechstündiger Probe-

rieb ausreichen. Durch das Rohr  $R$  läßt man schwache Seifen-  
 -ung fließen. Das folgende Beispiel zeigt die Verwertung der bei  
 -er Methode erhaltenen Daten.

Der totale Wirkungsgrad eines Nebenschlußelektromotors wurde mit  
 Pronyschen Zahn bestimmt. Die Klemmenspannung des Motors war  
 $= 115$  Volt und der Stromverbrauch  $= 45$  Ampère. Der Anker machte  
 $900$  Umdrehungen in der Minute, wenn der Hebel des Pronyschen  
 -es am Ende mit  $P = 3,81$  kg belastet war. Die Länge des Hebelarmes  
 $l = 1,2$  m. Vor der Belastung war der Pronysche Zahn auf der steinen-  
 -Riemenscheibe ausbalanciert.

$W$  = Reibungskraft am Umfange der Riemenscheibe, deren Radius  $r$ .  
 -ungsarbeit in der Sekunde  $= \frac{W \cdot 2\pi r \cdot n}{60}$  mkg. Ist der Zahn im Gleich-  
 -cht, so haben wir ferner

$$W \cdot r = P \cdot l, \text{ also } W = \frac{P \cdot l}{r}.$$

Die vom Motor verbrauchte Energie ist ferner

$$\frac{E_p \cdot t}{736} \text{ P. S.}$$

Demnach wird der Wirkungsgrad des Motors

$$\eta = 1,03 \frac{P l n}{E_p t} = 0,818.$$

Nach dieser Methode kann der Wirkungsgrad für verschiedene  
 -stungen ermittelt werden.

Die Temperatur des Ankers wird gleich nach dem Ausschalten  
 Motors meistens durch ein Thermometer gemessen, welches mit etwas  
 -anolumhüllung dicht an die Wicklung gepreßt wird, wobei man  
 -ch eine Schicht von trockener Baumwolle die Ausstrahlung der  
 -me zu vermindern sucht. Die Ablesung der Temperatur erfolgt  
 -, wenn das Thermometer nicht mehr steigt. Die Messung der  
 -peraturzunahme der Magnetspulen bei dem in Rücksicht gezogenen  
 -riebe geschieht durch Messung der Widerstandszunahme (siehe S. 24).  
 -ei es ausreicht, den Temperaturkoeffizienten des Kupfers gleich  
 04 zu nehmen. Für alle übrigen Teile des Motors, mit Ausnahme  
 Magnetspulen, dienen zur Temperaturmessung Thermometer. Alle  
 -den praktischen Betrieb vorgesehenen Umhüllungen des Motors  
 -en während des Probetriebes nicht abgeändert oder beseitigt  
 -den.

Bei der Prüfung der Motoren ist auch besondere Aufmerksamkeit  
 die Bildung der Funken am Kollektor zu richten.

§ 55. Behandlung der Motoren und Bedienung der An-  
 -er. Über die Behandlung der Motoren gilt der Hauptsache nach  
 -elbe, was über die Behandlung der Dynamos (vergl. § 113 u. ff.)  
 -eschrieben ist.

Bei konstanter Belastung des Motors werden die Bürsten ent-  
 -en der Drehungsrichtung des Ankers aus der neutralen Zone in

diejenige Stellung gebracht, wo die Funkenbildung am Kollektor am geringsten ist oder ganz unterbleibt. Dies ergibt sich leicht aus den Betrachtungen des § 45, wenn man bedenkt, daß der Strom im Anker des Motors entgegengesetzt fließt wie in dem der Dynamo (vergl. § 52). Die Magnetisierung des Ankers ändert sich mit der Stromstärke im Anker, und daher müßte bei jeder Änderung der Belastung zur Erhaltung des funkenlosen Ganges eine Veränderung der Bürstenstellung vorgenommen werden. In solchen Betrieben, wo Belastungsschwankungen schnell aufeinander folgen, sucht man die Funkenbildung durch Anwendung von Kohlebürsten zu vermindern, überhaupt bei Motoren für Bahnen, Hebezeuge und ähnliche Betriebsverhältnisse ausschließlich Anwendung finden. Dabei werden die Bürsten in die neutrale Achse des magnetischen Feldes des Magnets eingestellt. Da die Drehungsrichtung des Ankers bei den genannten Betrieben wechselt, so ist eine Funkenbildung bei der Einstellung in die neutrale Zone überhaupt nicht ganz zu vermeiden.

Das Einschalten des Motors mit dem Anlasser soll langsam erfolgen, weil bei einer schnellen Bewegung der Kurbel des Anlassers an den Kontaktstücken desselben, ebenso auch am Kommutator Funkenbildung eintritt. Beim zu schnellen Einschalten des Motors entsteht auch im Netze infolge des hohen Stromverbrauches eine starke Spannungsschwankung. Beim Ausschalten des Motors wird die Kurbel des Anlassers rasch in die Anfangsstellung zurückgeführt.

Sind die Kontakte der Widerstände (siehe S. 151) einstellbar, so ist darauf zu achten, daß sie stets in der richtigen Folge aufeinander geschlossen werden. In diesem Falle sollen auch stets Kontaktarme zum Ersatz zur Hand sein.

Nur wenn der Anlaßwiderstand ausdrücklich für Dauereinschaltung (siehe S. 124) angefertigt ist, darf der Schalthebel auf einer Zwischenstellung zwischen Anfangs- und Endlage festgestellt werden. Ist die Dauereinschaltung nicht vorgesehen, so werden die Widerstandsspulen des Anlassers bei einer Zwischenstellung des Schalthebels verbrennen. Der Schalthebel des Anlassers soll sauber auf den Kontakten liegen. Die Kontaktstücke und die isolierenden Zwischenscheiben sind von Zeit zu Zeit sorgfältig zu reinigen, die Schraubenverbindungen der Leitungen nach dem Netze und dem Motor, sowie der Widerstandskörper an den Kontaktstücken sind öfters nachzusehen und erforderlichenfalls anzuziehen. Die Anlasser sollen gegen Feuchtigkeit geschützt sein.

Über die Flüssigkeitsanlasser siehe S. 154.

**§ 56. Beschreibung spezieller Elektromotoren.** Die Motoren für den Betrieb von Winden, Kränen u. s. w. auf den Schiffen sollen nach außen abgeschlossen sein, so daß sie vollkommen gegen eindringende Feuchtigkeit geschützt sind. Überhaupt ist es zweckmäßig



den Motoren solche Magnetgestelle zu verwenden, bei denen die stromführenden Teile geschützt liegen. Die vollständig mit einem Eisenmantel umschlossenen Motoren haben auf Schiffen außerdem den Vorteil einer magnetischen Streuung und damit sehr geringer Beeinträchtigung des Kompasses. Bei diesen eisengeschlossenen Motoren kann jedoch leicht infolge mangelhafter Lüftung eine sehr hohe Erwärmung eintreten, und nach längerem Betriebe erfolgt die Abkühlung nur sehr langsam. Läßt man die Stirnverbindungen der Ankerleiter möglichst kühl und luftig liegen, und bringt man besondere Lüftungskanäle in tangentialer und radialer Richtung im Ankerkern an, so läßt sich auch in eisengeschlossenen Motoren bei längerem Betriebe die Temperatur unter der vorgeschriebenen Grenze (vergl. § 54) halten.

#### L. Elektromotoren von Siemens u. Halske, A.-G., Berlin.

Die Gleichstrommotoren, Modell G M b (Fig. 185), besitzen ein fast ganz abgeschlossenes kräftiges Stahlgehäuse, das die inneren Teile vor mechanischen

Fig. 185.



Die Motoren sind sehr gering gebaut, und ihre Verwendung empfiehlt sich besonders bei beengten Raumverhältnissen. Die Lager sind mit Ringschmierung versehen. Da die Lagerschilder in beliebigen Stellungen am Gehäuse befestigt werden können, so ist auch die Befestigung der Motoren an der Decke und an senkrechten Flächen geschehen.

Erforderlichenfalls kann das Gehäuse ganz dicht abgeschlossen werden, so daß die inneren Teile vollkommen gegen Nässe und Staub geschützt sind. Dabei werden die Ventilationsöffnungen durch Bleche verstopfen und die Öffnungen für die Bürstenträger durch Schutzkästen bedeckt.

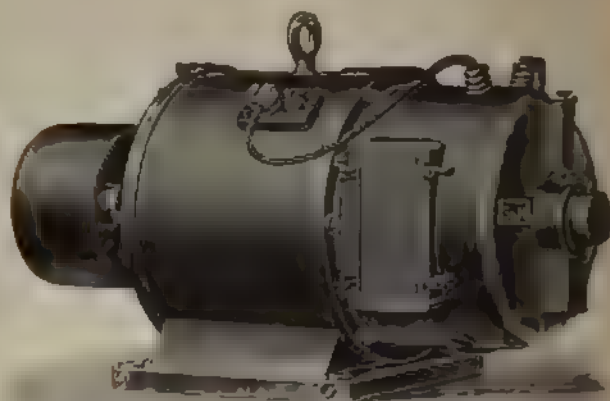
Die Gleichstrommotoren, Modell P U A (Fig. 186, a. f. S.), besitzen vollständig abgeschlossenes Gehäuse, das Anker- und Magnetwicklungen vor mechanischen Verletzungen und gegen Eindringen von Staub, Tropfen Spritzwasser schützt. Beide Lagerschilder sind als völlig geschlossen, mit fuge Gufskappen ausgeführt. Der Kommutator ist durch zwei an jeder Seite angeordnete Verschlusskappen zugänglich. Die Anschlusskabel sind durch fest angeordnete Gummidurchführungen zu den Bürsten geleitet. Die Lager sind mit Fettachsmierung versehen.

Im Nachfolgenden ist eine Zusammenstellung der Gleichstrommotoren, Modell G M b und P U A, für intermittierenden Betrieb gegeben. Die Leistungen der hier angeführten Motoren, welche auch für die Spannungen 110 Volt und 500 Volt konstruiert werden, gelten für den Fall, daß jeder Arbeitszeit des Motors eine mindestens gleich lange Pause folgt, während welcher der Motor völlig ausgeschaltet ist, und daß ein ununterbrochener



Betrieb von mehr als fünf Minuten Dauer nicht vorkommt. Die Erwärmung dieser geschlossenen Motoren ist für beide Betriebsarten höher, als für die Motoren in der Regel zugelassen wird, jedoch nicht so hoch, daß die Isolation der Wicklungen gefährdet wird. Soll die Betriebsdauer ohne Unter-

Fig. 186.



brechung auf mehr als sechs Stunden ausgedehnt werden, oder soll die Erwärmung die bei offenen Motoren übliche nicht übersteigen, so ist eine wesentliche Herabsetzung der Leistungen erforderlich; der Wirkungsgrad der Motoren ist dann entsprechend geringer.

Modell	Gewicht ohne Riemenscheibe		für 110 oder 220 Volt		
	netto kg	brutto kg	Leistung P S	Drehmoment mkg	Leistung Pouzet Minut

## Nebenschlußmotoren.

G M b 6 . . . . .	85	104	1,25	1,00	500
				0,85	1000
G M b 7 . . . . .	150	160	2,25	1,85	500
				1,58	1000
G M b 8 . . . . .	190	220	3,25	2,77	80
G M b 9 . . . . .	200	305	4,5	3,96	510
G M b 10 . . . . .	335	400	6,5	6,12	70
G M b 11 . . . . .	450	515	10	9,40	70
G M b 12 . . . . .	580	700	13	12,20	70
b P U A 15 20 . . . . .	955	1150	22	28,1	50
b P U A 15 30 . . . . .	1200	1475	34	43,5	50
b P U A 15 36 . . . . .	1760	2050	48	62,8	50

Modell	Gewicht ohne Riemenscheibe		für 110 oder 220 Volt		
	netto kg	brutto kg	Leistung P.S.	Drehmoment mkg	Touren pro Minute
Hauptstrommotoren.					
M b 6 . . . . .	85	104	1,25	1,08 0,89	840 1000
M b 7 . . . . .	130	160	2,25	1,96 1,64	820 980
M b 8 . . . . .	190	220	3,75	3,35	800
M b 9 . . . . .	260	305	5	4,59	760
M b 10 . . . . .	335	400	7	6,06	720
M b 11 . . . . .	450	515	11	10,05	720
M b 12 . . . . .	590	700	15	14,90	720
P U A 15/20 . . .	955	1150	24	32,4	530
P U A 15/30 . . .	1200	1475	36	48,6	530
P U A 18/26 . . .	1760	2050	51	76,0	480

Fig. 187.

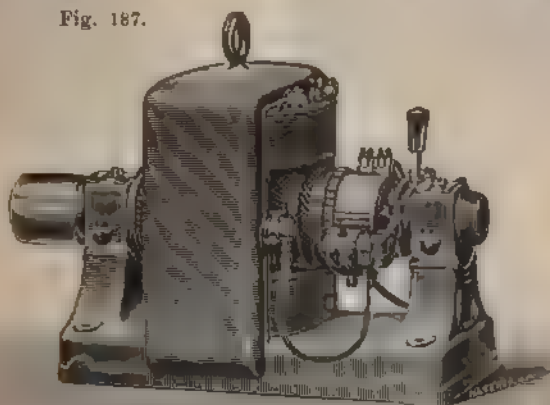


Fig. 188



Gleichstrommotoren, Modell FA (Fig. 188) und GA (Fig. 187), mit veränderlicher Tourenzahl. Auf diese ist bereits auf S. 120 hingewiesen. Diese Motoren eignen sich zum Antrieb von Maschinen, die je nach der zu verrichteten Arbeit bald schnell, bald langsam laufen müssen. Der Wirkungsgrad des Motors hat für alle Geschwindigkeiten möglichst denselben hohen Wert.

Modell	für 110 oder 220 Volt		
	Leistung	Wirkungs- grad	Touren pro Minute
	P.S.	etwa Proz.	
FA 8 13 . . . . .	1,5	75	900 — 1800
FA 8 18 . . . . .	2	76	900 — 1800
GA 9 . . . . .	3	77	840 — 1680
GA 10 . . . . .	4	78	720 — 1440
GA 11 . . . . .	5	79	740 — 1480
GA 12 . . . . .	6	80	680 — 1360
GA 13 . . . . .	8	81	625 — 1250
GA 17 . . . . .	10	82	600 — 1200
GA 18 . . . . .	13	83	550 — 1100
GA 20 . . . . .	18	84	480 — 960
GA 22 . . . . .	24	85	440 — 880
GA 24 . . . . .	32	86	400 — 800

## 2. Motoren der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin

Die Gleichstromelektromotoren werden für stationären Betrieb und Traktionszwecke gebaut. Die ersteren werden ihren Leistungen und je

Fig. 189.



sonderen Anforderungen einzelner Betriebe entsprechend in folgender Tabelle zusammengestellten Typen hergestellt:

Typ E. Kleinmotoren, für geringe Leistungen.

Typ RK (Fig. 189) und RKN mit rundem, kapselartigem Gehäuse und Lagerschilden; für mittlere Leistungen.

Typ RKNW und RKNW mit rundem, kapselartigem Gehäuse und Lagerschilden, deren Öffnungen wasserdicht geschlossen sind; für mittlere Leistungen.

Typ MP und MPN mit rundem, offenem Gehäuse; für mittlere und große Leistungen.

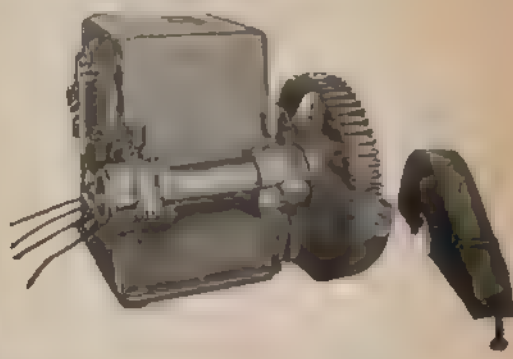
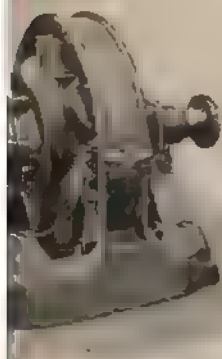
Typ MPL mit rundem Gehäuse und Lagerschilden, für kleine und mittlere Leistungen; sehr langsam laufend.

Typ WD mit geteiltem, kastenartigem, wasserdicht geschlossenem Gehäuse, ausschließlich als Hauptstrommotoren.

Fig. 189 stellt einen Motor der Type RK und RKN mit Nebenschluß-  
wicklung dar. Der Anker liegt geschützt innerhalb des Feldgehäuses.

Fig. 190.

Fig. 191.

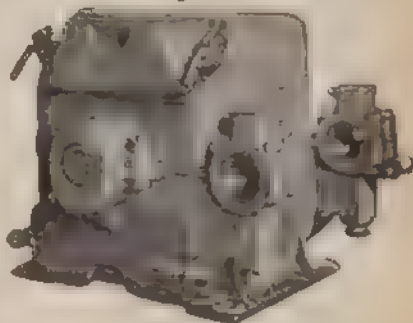


Drehen der Lagerschilde um  $90^\circ$  bzw.  $180^\circ$  lassen sich die Motoren ferner als Wand- oder Deckenmotoren verwenden. Die Lager besitzen Ölschmierung. Die Stromzufuhr erfolgt durch Kohle-  
bürsten. Diese Motoren können als wasserdicht und staubgeschlossene Motoren betrachtet werden, für die Normalleistungen 110, 220 und 300

Fig. 192.

In der nachfolgenden Tabelle ist eine Zusammenfassung der wichtigsten Daten der Motoren gegeben.

Fig. 190 stellt einen Gleichstrommotor der Type MP dar.



Die gekapselten Gleichstrommotoren der Type WD (Fig. 191) eignen sich wegen ihres hohen Anzugsmomentes und ihrer relativ geringen Umdrehungszahl bei gedungenem Bau besonders zum Antrieb von Kränen, Aufzügen u. s. w. Die obere Hälfte ist entweder abnehmbar oder wie bei dem WD 24 300 an Schrauben aufklappbar, um das Nehmen des Ankers zu gestatten. Am oberen und unteren Gehäuse-

Her., Elektrotechnik.

Bezeichnung			Strombedarf und Umdrehungszahl bei Vollast und						Wirkungsgrad in Prozenten bei Belastung			
Type	Polsahl	P.S.	Umdrehungen in der Minute	110 Volt		220 Volt		500 Volt		$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{2}$
				Ampère	Umdreh. i. d. Minute	Ampère	Umdreh. i. d. Minute	Ampère	Umdreh. i. d. Minute			
Schnelllaufend.												
RKN	4	3	1700	25	1700	12,5	1700	5,5	1950	80	78	68
RK	4	5	1500	41	1500	20,5	1500	9	1700	81,5	77,5	71
RK	4	7,5	1300	61	1300	30,5	1300	13,4	1500	83	81,5	74,5
RK	4	10	1200	79	1200	38,5	1200	17,4	1350	85	83	77
RK	4	15	1100	116	1100	58	1100	25,6	1250	86	84	79,5
RK	4	20	1000	154	1000	77	1000	34	1150	87	85,5	81
RKN	4	25	900	191	900	95,5	900	42	1000	88	88	82,5
RKN	4	30	800	226	800	113	800	50	880	89	87	83,5
RKN	4	35	750	262	750	131	750	57,5	825	89,5	87,5	84
RKN	4	45	700	335	700	168	700	74	775	90	88,5	85
RKN	6	60	650	445	650	223	650	98	650	90,5	88,5	86
III	6	75	600	555	600	276	600	119	600	91	90	87,5

## Langsamlaufend.

RKN	4	2	1100	16,8	1100	8,5	1100	3,7	1250	79,5	75,5	67
RK	4	3	950	24,5	950	12,3	950	5,4	1100	81,5	78	72
III	4	5	900	41	900	20,5	900	9	1025	83	82	75
RK	4	7,5	850	61	850	29,5	850	13	950	85	83,5	78
RK	4	10	800	77	800	38,5	800	17	900	86	84	80
RK	4	15	700	116	700	58	700	25,5	800	87	85,5	81,5
RKN	4	20	660	153	660	76,5	660	33,5	750	88	86	83
RKN	4	25	630	188	630	91	630	41	715	89	87	84
RKN	4	30	580	224	580	112	580	48	660	89,5	87,5	84,5
RKN	4	35	540	260	540	130	540	57,5	610	90	88,5	85
RKN	6	50	510	368	510	184	510	81	510	90,5	89	87
RKN	6	65	450	480	450	240	450	100	450	91	90	86

teil sind durch leicht lösbare Deckel wasserdicht verschlossene Öffnungen vorgesehen, welche den Kollektor und die Bürsten zugänglich machen. Die WD-Motoren haben durchweg Kohlebürsten. Sie sind ohne weiteres reversierbar. Der Motor wird, unter Fortfall von Wendegetrieben für jede Bewegung, direkt mit dem zugehörigen Triebwerk starr gekuppelt. Fig. 192 zeigt einen Hauptstrommotor Type WD 16—600 mit Vorgelege, wobei das große Zahnrad und der Zahnradschutzkasten abgenommen sind.

Fig. 193 auf Seite 149 zeigt einen geöffneten Hauptstrommotor Type WD 16—600 mit Vorgelege.

Bezeichnung des Motors	Leistung	Kraftbedarf in KW	Gebremstes Drehmoment in mkg	Ohne Vorgelege			Mit Vorgelege		
				Um-drehungen in der Minute	Gewicht		Um-drehungen in der Minute	Gewicht	
					netto kg	brutto kg		netto kg	brutto kg
WD 2—750	2,5	2,25	2,24	800	140	170	154	190	230
WD 5—400	5	4,64	6,82	525	250	280	127	300	350
WD 7—700	7	6,84	6,48	775	250	280	187	300	350
WD 8—400	8	7,86	14,35	400	310	350	93	375	425
WD 12—700	12	10,7	9,80	875	310	350	205	375	425
WD 16—600	16	14,5	15,25	750	500	560	129	680	750
WD 18—350	18	16,2	32,20	400	680	740	84	900	980
WD 26—450	26	23	34,50	540	680	740	113	900	980
WD 24—200	24	22	68,70	250	1250	1325	72	1475	1600
WD 35—275	35	33	74,00	340	1250	1325	97	1475	1600
WD 52—450 <sup>1)</sup>	52	45	70,30	590	1250	1325	151	1475	1600

<sup>1)</sup> Die Motoren WD 52—450 werden nur für Spannungen von 220 und 500 Volt, alle übrigen für 110, 230 und 500 Volt gebaut. — Die Motoren werden normal mit Hauptstromwicklung geliefert.

### 3. Gleichstrommotoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

Modell NG und NSG (Fig. 194 und 195).

Im Nachfolgenden ist eine Zusammenstellung einiger dieser Motoren gegeben, die übrigens sämtlich für die Spannungen 65, 105, 210, 440 und 500 Volt geliefert werden.

Größe	Spannung	Strom- stärke	Gesamt- verbrauch in Watt	Umdrehenzahl	Leistung in P. S.
NG 15 . . . .	65	20	1890	1600	2
	105	18		1400	2
	210	0		1400	2
NG 25 . . . .	65	49	3170	1100	3,5
	105	30		1120	3,5
	210	15,3		1120	3,5
	65	84	2210	600	2,25
	105	16,5	1735	550	1,75
	210	8,3	1750		
NG 50 . . . .	105	61	6500	1000	7,5
	210	31		1080	
	440	15		1000	
NG 75 . . . .	65	126	8050	970	9,5
	105	76,5	8050	880	9,5
	210	38,5	8050	880	9,5
	440	19	8300	900	9,5
	500	16,5	8300	980	9,5
	65	81	5265	480	6
	105	40	4200	420	4,5
	210	20	4200	420	4,5
	105	102	10700	770	12,5
	210	51	10700	770	12,5
NG 100 . . . .	105	53	5570	960	6,5
	105	131	13750	780	16,5
	210	65,5	13750	770	16,5
NG 125 . . . .	105	87	7035	400	8,25

In Fig. 195 ist ein geschlossener NG-Motor dargestellt.



Fig. 141.



Fig. 194

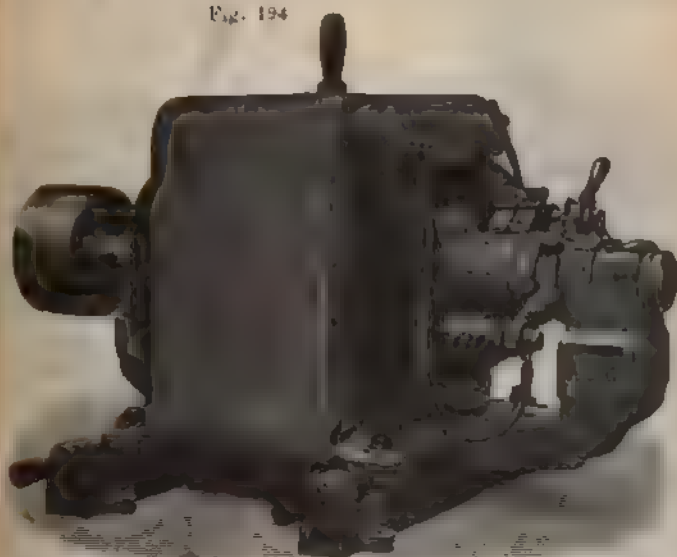
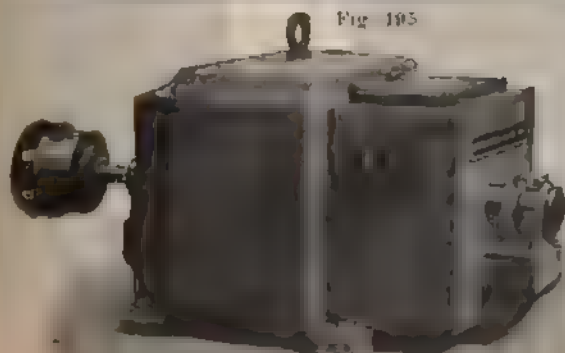


Fig. 195



§ 57. Hilfsapparate für den Motorenbetrieb. Anl.

Fig. 196 stellt einen Anlasser Type A und Fig. 197 einen Anlasser Type B der Firma Siemens und Halske A.-G., Berlin, dar.



Fig. 196.

selben sind für Betriebe geeignet, welche ein sehr häufiges Aus- und Einschalten des Motors erfordern. Für Tourenregulierung sind diese Anlasser nichtwendbar. Kontaktplättchen und Kontakthürste leicht auswechselbar.

Fig. 198 stellt einen geschlossenen Anlasser

In Fig. 199 ist ein Anlasser der Firma Siemens und Halske, Berlin, mit Nebenschlußregulierungsband dargestellt, der besonders für die auf 8. 2. handelnden Motoren mit veränderlicher Tourenanzahl bestimmt ist. Durch Drehen des Handrades werden zunächst die Stufen des Anlaufwiderstandes ausgeschaltet, wodurch der Motor auf die kleine

Fig. 197

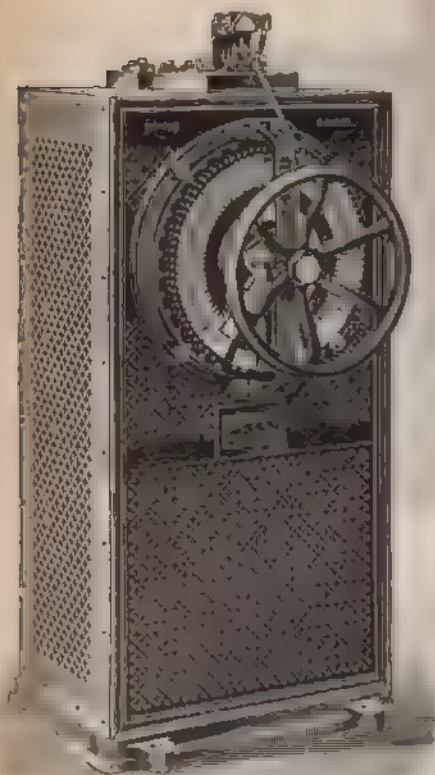
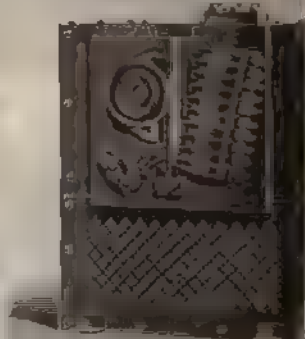


Fig. 198.



Fig. 199



beiden Tourenzahlen gebracht wird. Durch weiteres Drehen des Handrades werden die Stufen des Regulierwiderstandes eingeschaltet, so daß die Tourenzahl bis auf das Doppelte erhöht werden kann. Der Anlasser ist für

unter voller Last, aber nicht für dauernde Einschaltung bemessen, darf also auch nicht durch Hauptstromregulierung (siehe S. 124) dazu benutzt werden, um die Tourenzahl noch unter die kleinere der auf S. 144 angegebenen Tourenzahlen zu bringen.

Bisweilen erhalten die Anlasser Einrichtungen, die den Hebel selbsttätig in die Ausschaltstellung zurückführen, wenn der Strom von der Centrale aus oder durch Abschmelzen einer Sicherung unterbrochen wird. (Anlasser mit Nullstrom-Ausschaltung.) Während der Motor im Betriebe ist, wird der Anlaßhebel durch den Anker eines Magneten gehalten, dessen Spule zwischen den Hauptleitungen („auf Spannung“) geschaltet ist. Sobald der Strom aus irgend einem Grunde aufhört, läßt der Anker den Hebel los, und dieser wird durch eine Feder in die Ausschaltstellung zurückgeführt.

Bei den Anlassern mit Überstrom-Ausschaltung wird dagegen der Hebel in die Ausschaltstellung zurückgeführt, wenn der Strom durch Überlastung des Motors, durch Anwachsen der Netzspannung oder durch irgend welche Unterbrechung des Magnetstromkreises eine gefährliche Stärke erreicht.

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin verwendet für Proviantaufzüge an Bord „Schnelldampfer, Kaiser Wilhelm der Große“ u. a. m.) den Umkehranlaufwiderstand (Fig. 200), dessen Schaltungsschema in Fig. 201 wiedergegeben ist. Die Antriebswelle A (Fig. 201) wird durch einen Steuerhebel oder durch ein Steuerseil, je nach der gewünschten Drehrichtung, nach der einen oder nach der anderen Seite umgelegt. Hierdurch wird die Kurbel K und gleichzeitig die Stellscheibe P um 180° gedreht, welche den Umschalter S einstellt, durch den die Stromrichtung im Anker bestimmt wird. Durch Drehen der Kurbel K wird die Stange T frei, welche durch ihr Gewicht herabsinkt, wobei die an T befestigte Kontaktfeder zunächst den Nebenschluß des Motors einschaltet und hierauf durch den Kontakt C, den ganzen, dem Anker vorgeschalteten Widerstand W. Dieser Widerstand wird stufenweise, in dem Maße wie T sinkt, ausgeschaltet. Durch ein oben an der Stange T angebrachtes einstellbares Sperrwerk wird ein zu schnelles Herabsinken von T verhindert.

Der geringen Herstellungskosten und des geringen Raumbedarfes wegen empfiehlt sich namentlich für große Motoren der Flüssigkeitsanlasser. Diese Einrichtung sich aus Fig. 202 für einen Nebenschlußmotor ergibt. Für Motoren über 30 P. S. erreichen die Anlasser, in denen das Widerstandsmaterial aus Metall besteht, meist solche Dimensionen und Kosten, daß man den Flüssigkeitsanlassern den Vorzug gibt. Dieser Anlasser A besteht

Fig. 200



Fig. 202 aus zwei voneinander isolierten, gußeisernen Gefäßen, die mit verdünnter Soda- und Salzsäure gefüllt sind. Die Gefäße werden durch eine U-förmige Blechtafel miteinander verbunden, die man in die Flüssigkeit taucht. Bei der Benutzung in der Erfindung ist die Widerstand geringer ist, das U-förmige Blech taucht in die Flüssigkeit. In der ersten Stellung der Feder wird der Widerstand geschlossen, in der zweiten Stellung der Kontakte zwischen den

Fig. 201

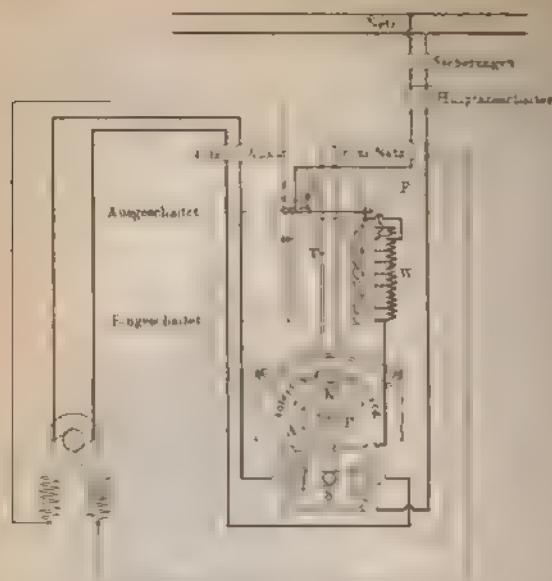
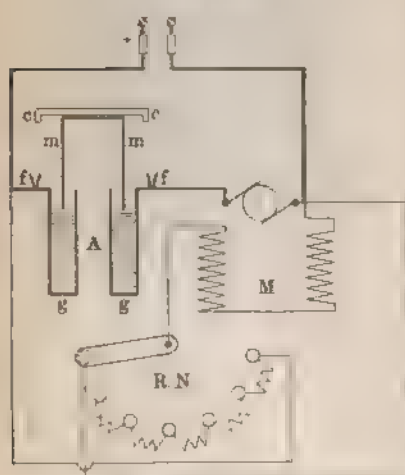


Fig. 202



den Anlasser  $A$  wird zur Erreichung der Feldstärke noch der reguläre Widerstand  $NB$  den Magneten  $M$  vorgeschaltet.

Beim Ausschalten der Stromunterbrechung an der Fläche der Flüssigkeit ohne Verbindung vor sich. Da durch Erschütterungen die Flüssigkeit leicht ausgeschüttet werden, so empfiehlt sich nicht die Anwendung dieser Anlasser an Bord nicht für Motoren auf Schiffen Hebezeugen.

Infolge der Elektrolyse an den Anlassern für Gleichstrommotoren mit der Zeit ein nicht bedeutender Verschleiß ein. Anlasser muß gegen großem geschützt sein.

In Fig. 203 und 204 sind zwei Anlasser der Firma Siemens und Halske, A.-G., Bockenheim, dargestellt. Die Platten werden durch eine Spindel, mittels Handhebels oder durch Zahnstange und Pleuelhebel

<sup>1)</sup> 1 bis 1 kg Soda auf 1 Liter Wasser

altet. Die eintauchende Platte muß in der Ausschaltstellung sicher im Betriebe ist ferner darauf zu achten, daß die Gefäße stets mit Öl gefüllt sind.

Fig. 204.



Fig. 203.



Fig. 205.



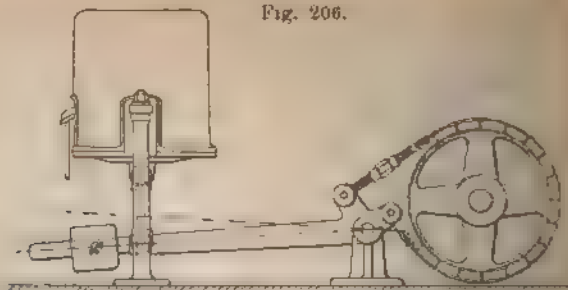
**58. Bremsen.** Für den Betrieb elektrischer Maschinen ist die Anwendung zuverlässiger und wirksamer Bremsen von besonderer Wichtigkeit. Wir unterscheiden

**Mechanische Bremsen.** Die Konstruktion derselben muß hier zu berücksichtigen sein. Zweckmäßig werden dieselben so mit der Umsteuerung des Motors vereinigt, daß die Bremse nur dann in Tätigkeit gesetzt werden kann, wenn der Umsteuerhebel in Mittelstellung sich befindet, und daß der Hebel nicht eher bewegt werden kann, als bis die Bremse gelöst ist.

**Elektrische Luftungsbremsen.** Durch das Gewicht des Ankers *A* wird die Bremse angezogen, wenn nicht durch die Spulen *S* des Motors ein Strom fließt. Durch die Spulen *S* fließt bei Nebenschluß sowohl der Nebenschlußstrom, bei Serienmotoren wird die Spule *S* der Nebenschlußwicklung direkt an das Netz angeschlossen, so daß beim Betreiben des Motors der Anker *A* angezogen wird, und die Bremse sich löst. Je nach der Belastung veränderlichen Ankerstromstärke können die Spulen *S* nicht im Ankerstromkreise liegen. Um langsames und stoßloses Anhalten zu erreichen, werden alle Bremsmagnete mit Dämpfern, wozu Luftpumpen dienen, versehen.

In Fig. 206 ist schematisch die Verbindung von Bremsöffnung und Bandbremse nach der von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft

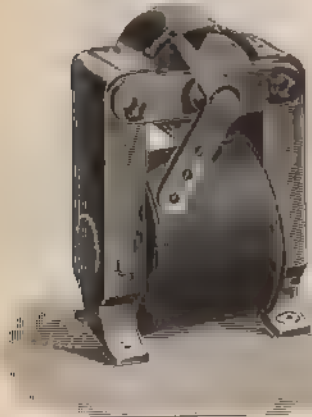
Fig. 206.



Berlin, gegebenen Anordnung dargestellt. Die Bremse wird so an die Maschine angebaut, daß sie im stromlosen Zustande durch das Gewicht des Ankers, welches eventuell durch eine Zusatzbelastung verstärkt werden kann, angezogen wird. Sobald der Strom in den Motor beim Einschalten der Maschine einfließt, wird der Anker angezogen und die Bremse gelöst.

In Fig. 207 ist ein Bremsmagnet der Firma Siemens u. Halske, Berlin, dargestellt. Im Felde eines Magneten bewegt sich dabei ein Anker mit zwei nasenförmigen Ansätzen, durch die die Drehungsrichtung des Motors

Fig. 207.



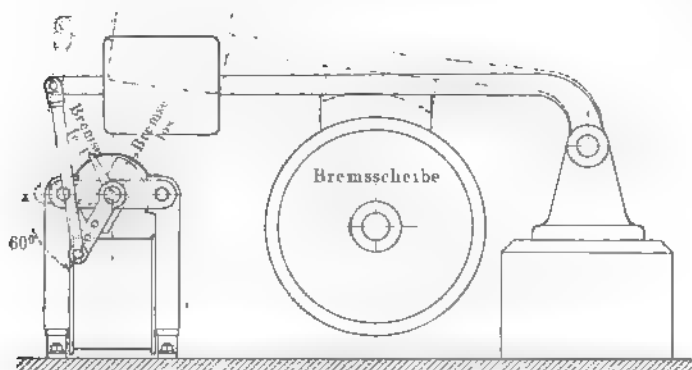
bestimmt wird. Bei Erregung des Magneten sucht sich der Anker nach dem magnetischen Pol zu stellen, das der magnetische Abstand zwischen den Polen möglichst klein ist. Dieser Bremsmagnet wirkt sich gegenüber den anderen Komponenten durch seinen verhältnismäßig großen Hub aus.

Zum Bremsen kann auch der Anker des Elektromagneten selbst mit ihm (Fig. 209) durch einen Hebel verbundener Bremsklots verwendet werden. Im anderen Falle kann die Bremswirkung durch die Pole des Elektromagneten (Fig. 210), oder besser zweier diametral am Umfang der Scheibe liegender Magnete, erzielt werden. Diese Bremsen sind als direkt wirkende elektrische Bremsen zu bezeichnen.

3 Bremsen der Motoren auf Widerstand. Hierbei wird der Motor vom Netze abgeschaltet, und man läßt ihn sofort als Dynamo auf einen Widerstand arbeiten. Je größer die Tourenzahl des Ankers ist, desto kleiner der eingeschaltete Widerstand, desto wirksamer ist die Bremsung. Der anfangs eingeschaltete Widerstand wird so gewählt, daß die zulässige Stromstärke eintritt; er wird dann in dem Maße vermindert, wie die Tourenzahl des Ankers abnimmt. Diese Änderung des eingeschalteten Widerstandes geschieht am besten selbsttätig etwa durch einen Relais. Die bei dieser Methode erzielte Bremswirkung hört bei geringer Geschwindigkeit des Ankers schließlich ganz auf. Meistens ist deshalb, besonders bei Heben, zum vollständigen Stillsetzen des Motors noch eine Handbremse erforderlich.

Bei dieser Bremsung wird die mechanische Energie des Ankers bzw. mit ihm verbundenen und in Bewegung befindlichen Massen in elektrische

Fig. 208.



ergie verwandelt; sobald der Vorrat an ersterer aufgebraucht ist, hört die Bewegung auf.

Die Bremsung auf einen kleinen Widerstand ist auch bei den zum Umladen der Panzertürme verwendeten Motoren benutzt [vergl. Neudeck, Die

Fig. 209.

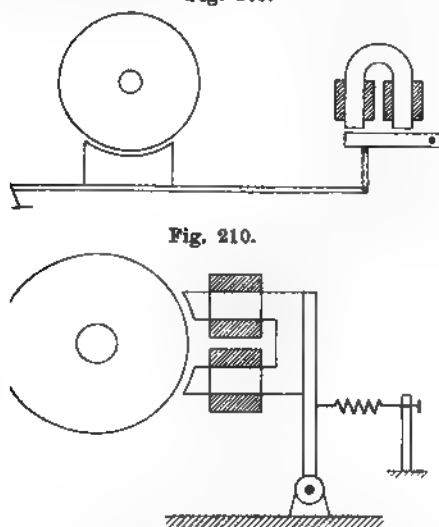
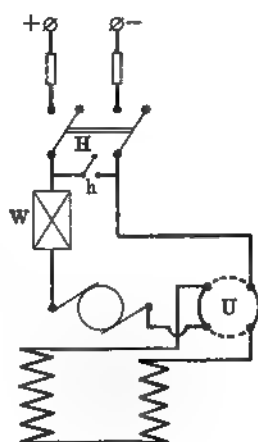


Fig. 210.

Fig. 211.



raffnung von Kriegsschiffen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 22, S. 410<sup>1)</sup>].

<sup>1)</sup> Für viele Zwecke, wie für den Betrieb von Ventilatoren, Aufsügen für Pro-  
t und Munition, Paternosterwerken, Pumpen u. a. w., überhaupt für den dauern-  
Antrieb großer Hilfsmaschinen bietet die Verwendung der Elektrizität an Bord  
chiedene Vorzüge. Als solche sind hervorzuheben: 1. die Möglichkeit, jederzeit  
Betrieb sofort zu beginnen; 2. der geringe Raumbedarf der Motoren; 3. die



Nebenschlußmotoren werden häufig schon dadurch wirksam, daß man sie nach dem Abschalten vom Netze Strom für die Netzwicklung liefern läßt. Soll ein Serienmotor auf die angegebene Weise bremsen werden, so muß nach dem Ausschalten des Motors während der Bremsung die Verbindung zwischen Auker und Magnetpolen hergestellt werden, weil sonst die Maschine ihren remanenten Magnetismus verliert bzw. vernichtet wurde. Nach dem Abschalten vom Netze durch den poligen Ausschalter *H* (Fig. 211) schließt sich der Schalter *k*, und der Umschalter werden zur Bremsung die punktierten Verbindungen hergestellt, während für den Motorbetrieb die durch die ausgezogenen Linien dargestellten Verbindungen vorhanden sind. Der Anlasser *W* kann, sofern von vornherein darauf Rücksicht genommen ist, zugleich als Bremswiderstand benutzt werden.

4. Bremsung bei Nebenschlußmotoren durch Rückstrom ins Netz. Wird ein Nebenschlußmotor als Hubmotor bei einem Kran (Kran) verwendet, so kann derselbe beim Lastsenken, wenn seine Drehzahl infolge der erhöhten Tourenzahl größer als die konstante Betriebsdrehzahl wird, elektrischen Strom ins Leitungsnetz zurückgeben (vergl. die Untersuchungen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft zeigen, es sich dabei um nicht unbedeutende Energiemengen handelt, welche dem Netze nutzbar gemacht werden können<sup>1)</sup>). Die sinkende Last wirkt als Antriebskraft. Ist nur ein Motor vorhanden und dient als Stromquelle eine Akkumulatoren-Batterie, so wird in dieser teilweise die Energie der sinkenden Last aufgehäuft, um später wieder verwendet zu werden. Wenn für die Bremsung bei Serienmotoren, wie es jetzt meistens geschieht, verwendet werden soll, ist diese Gewinnung des Rückstromes nicht möglich.

5. Wirbelstrombremsen. Im Gegensatz zu den mechanischen Bremsen 1 und 2. erwähnten Bremsen sind hier keine sich abnutzenden Reibflächen vorhanden; die Bremsung geschieht hier dadurch, daß eine rotierende Scheibe befestigte Metallscheibe vor einem Polkranz aus Nord- und Südpolen abwechselnd liegen. Auch kann ein Metallcylinder verwendet werden, an dessen Umfang herum Nord- und Südpole abwechselnd magnetisch verteilt angeordnet sind. In der Scheibe wie in dem Cylinder werden bei der Rotation Wirbelströme (vergl. § 311) induziert, die solche Reibkräfte haben, daß sie die Bewegung aufzuhalten suchen. Die Stärke der induzierten Ströme ist annähernd dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. Die Bremsen können zugleich als Reibungsbremsen ausgeführt werden, wie bei hohen Umdrehungszahlen durch Wirbelströme, bei niedrigeren Reibung bremsen.

geringe Wartung bei sachgemäßer Aufstellung und Anordnung der Anlage, einfache Bedienung. Für manche Zwecke dagegen, wo es auf eine feine Regulierung der Tourenzahl ankommt, wie bei dem Betriebe der Schwenkwerke, Geschütze auf den Kriegsschiffen, kann der Elektromotor trotz der zahlreichen bestehenden beschriebenen Methoden der Regulierung der Tourenzahl noch nicht allen Anforderungen genügen. Für eine Regulierbarkeit innerhalb weiter Grenzen sind dabei meist sehr große und teure Regulatoren erforderlich, die eine beträchtliche Energiemenge absorbieren. Sehr bemerkenswert sind hierfür die Ausführungen von Grauert, Elektrische Kraftübertragung an Bord, Jahrbuch der technischen Gesellschaft, 3. Bd., S. 137, 1902. Umfangreiche Versuche sind auf S. M. S. „Agu“ mit Elektromotoren angestellt, auf die mehrfach früher gewiesen ist. Wir können auf diese wertvollen Mitteilungen hier nur kurz hinweisen.

<sup>1)</sup> C. Arldt, Elektrische Kraftübertragung und Kraftverteilung, 3. Aufl., 1901, S. 106 u. ff.

## Dritter Abschnitt.

# Wechselströme.

## Siebentes Kapitel.

### Grundgesetze des Wechselstromes.

§ 59. Entstehung der Wechselströme. Einfache Wechselstrommaschine. Wird in Fig. 85 das Gleitstück  $AB$  abwechselnd nach rechts und nach links bewegt, so entstehen im Schließungskreise Ströme wechselnder Richtung.

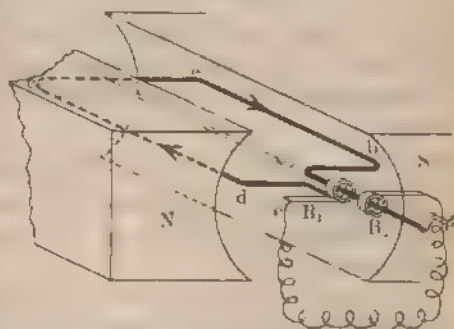
Eine rechteckige Windung aus Kupferdraht  $bacd$  (Fig. 212) wird zwischen den Polen  $N$  und  $S$  um die zu den Seiten  $ab$  und  $cd$  parallele Achse gedreht.

Die Seiten  $ab$  und  $cd$  der Windung durchschneiden die Kraftlinien des magnetischen Feldes.

Die Enden der Windung sind mit zwei voneinander isolierten und der Welle befestigten Ringen verbunden, auf welchen die feststehenden Bürsten  $B_1$  und  $B_2$  gleiten.

Die Windung und der äußere Widerstand  $w_0$  bilden einen geschlossenen Stromkreis. Da die Windung um eine zur Richtung der Kraftlinien senkrechte Achse rotiert, ist die Zahl der Kraftlinien, welche der Schließungskreis umfaßt, ständlich, in ihm entstehen also Induktionsströme. Ist die Fläche der Windung zur Richtung der Kraftlinien (zur Pollinie) senkrecht, so ist der auf sie treffende magnetische Kraftlinienfluß am größten; ist sie aber den Kraftlinien parallel, so ist die Zahl der von der Windung umschlossenen Kraftlinien gleich Null.

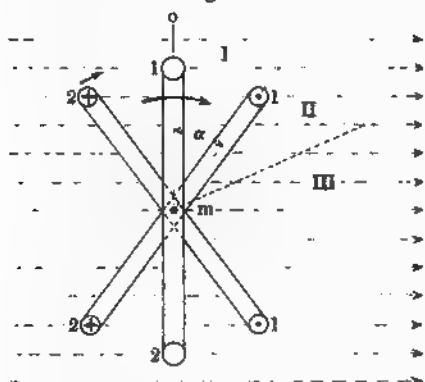
Fig. 212.



Blickt man von den Schleifringen aus gegen die Windung und rotiert letztere im Sinne der Uhrzeigerrichtung, so ist bei der in Fig. 212 dargestellten Lage nach den Regeln I und II des § 27 in  $ab$  der Strom auf den Beschauer zu, in  $cd$  von ihm fort gerichtet. Die in den beiden wirksamen Seiten induzierten elektromotorischen Kräfte treiben also den Strom im gleichen Sinne durch die Windung. Nach einer Drehung um  $180^\circ$  hat der Strom die entgegengesetzte Richtung. Bei der Drehung der Windung erhalten wir also Wechselströme und während jeder ganzen Umdrehung zwei Stromrichtungswechsel.

Um die Änderungen der hierbei induzierten E.M.K. genauer zu untersuchen, betrachten wir eine rechteckige Windung, welche in einem

Fig. 213.



homogenen Felde von der Stärke  $H$  rotiert. Zur Drehungsachse der Windung (Fig. 212) sei ein Schnitt (Fig. 213) senkrecht gelegt, 1 und 2 stellen dann die Querschnitte der wirksamen Seiten  $ab$  und  $cd$  dar. Die Windung drehe sich in der Richtung des Pfeiles um die Achse  $m$ . Die gestrichelten Linien stellen die parallelen Kraftlinien des Feldes dar. Die Anfangsstellung  $o$  der Windung sei diejenige, in

welcher die Ebene der Windung rechtwinklig zur Richtung der Kraftlinien liegt. Ist  $F$  die Fläche der rechteckigen Windung, so umfasst die Windung nach einer Drehung um den Winkel  $\alpha$  aus der Anfangsstellung

$$(46) \quad N_\alpha = F \cdot H \cdot \cos \alpha \text{ Kraftlinien.}$$

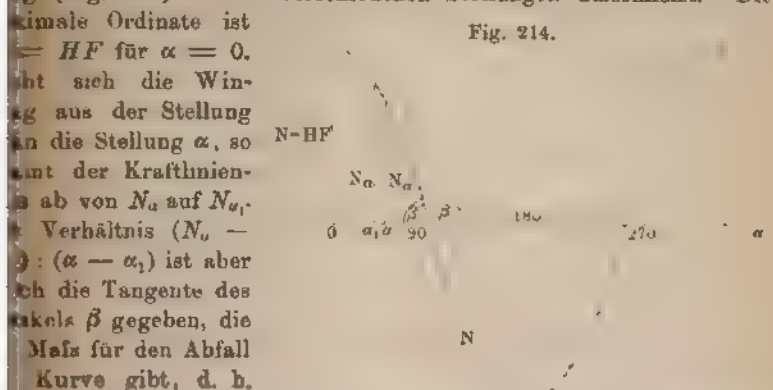
Ist  $\alpha = 90^\circ$  und damit die Ebene der Windung den Kraftlinien parallel, so ist die Zahl der von der Windung umschlossenen Kraftlinien gleich Null.

Dreht sich die Windung aus der Anfangsstellung  $o$ , so bewegen sich die beiden wirksamen Seiten 1 und 2 zunächst fast parallel den Kraftlinien. Wir teilen den Quadranten in drei gleiche Teile I, II und III; bei konstanter Umdrehungsgeschwindigkeit werden die Seiten 1 und 2 im Winkelraum I weniger Kraftlinien schneiden als in II, hier weniger als in III [vergl. § 28 und die Gleichung (27)]. Die induzierte E.M.K. ist am größten, wenn die Seiten 1 und 2 die Kraftlinien senkrecht durchschneiden, d. h. in den Zeitpunkten, wo die Windungsebene den magnetischen Kraftlinien parallel ist, und die Windung keine Kraftlinien umschließt. Für die Größe der induzierten

E.M.K. ist nicht die Zahl der Kraftlinien maßgebend, welche der Strom-  
 bezw. die rotierende Windung umschließt, sondern nur die Ge-  
 windigkeit, mit welcher sich diese Zahl verändert.

Die Ordinaten der Kurve  $N$ , Fig. 214, stellen nach der Gleichung (46) die Zahlen der Kraftlinien dar, welche die rotierende Win-  
 dung (Fig. 213) in den verschiedenen Stellungen umschließt. Die

Fig. 214.



maximale Ordinate ist  $= HF$  für  $\alpha = 0$ .  
 Wie sieht sich die Win-  
 dung aus der Stellung  
 in die Stellung  $\alpha$ , so  
 ändert der Kraftlinien-  
 zahl ab von  $N_\alpha$  auf  $N_\alpha'$ .  
 Das Verhältnis  $(N_\alpha - N_\alpha') : (N_\alpha - N_\alpha'')$  ist aber  
 gleich der Tangente des  
 Winkels  $\beta$  gegeben, die  
 die Kurve  $N$  für den Abfall  
 der Kurve gibt, d. h.  
 die Änderung der  
 Zahl der Kraftlinien, die von der rotierenden Windung umschlossen  
 werden. Je schneller sich aber der die Windungsfläche durchsetzende  
 Kraftlinienfluß ändert, desto größer ist die induzierte E.M.K. Der  
 Winkel  $\beta$  ist am größten für die Punkte, in welchen die Kurve  $N$   
 die horizontale Achse durchschneidet, d. h. für  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\alpha = 270^\circ$  u. s. w.  
 In diesen letzteren Stellungen der Windung muß also die in ihr indu-  
 zierte E.M.K. ihren größten Wert  $= E$  haben.

Ist die Windung um den Winkel  $\alpha$  aus ihrer Anfangslage ge-  
 dreht, so ist nach der Theorie der Wechselströme die in diesem Augen-  
 blick induzierte E.M.K.

$$e = E \sin \alpha.$$

In Übereinstimmung mit dem vorigen erhalten wir in der Tat, daß für

$\alpha = 0;$	$e = 0$
$\alpha = 90^\circ;$	$e = E$
$\alpha = 180^\circ;$	$e = 0$

u. s. w. wird.

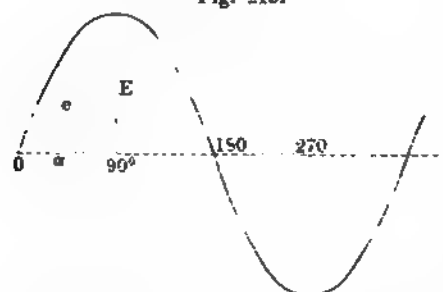
Rotiert also die Windung in einem homogenen Felde,  
 so ist der augenblickliche Wert  $e$  der induzierten E.M.K.  
 proportional dem Sinus des Winkels, um welchen die Win-  
 dung aus der Anfangslage gedreht ist.

Die Werte der augenblicklichen E.M.K. werden nach der Gleichung (47) in Fig. 215 (a. f. S.) durch eine Sinuskurve dargestellt, deren  
 maximale Ordinate gleich  $E$  ist. Die Kurve (Fig. 215) gibt für jede

Stellung der Windung, d. h. für jeden Wert von  $\alpha$  den Betrag der induzierten E.M.K. und stellt den Verlauf der Wechselspannung zwischen den Bürsten dar.

Rotiert eine Spule mit  $n$  Windungen in einem gleichförmigen Felde, dessen Stärke  $H$  ist, in derselben Weise wie die Windung in Fig. 213 und

Fig. 215.



214, und macht sie in der Sekunde  $n$  Umdrehungen, so ist das Maximum der induzierten E.M.K.

$$(47a) \quad E = 2\pi n \cdot N \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Dabei ist  $N = HF$ , wo  $H$  die Stärke des homogenen Feldes und  $F$  die Fläche einer Windung der Spule bedeutet.

Ist  $\omega_i$  der Widerstand der rotierenden Windung bzw. Spule und  $\omega_a$  der zwischen

den Bürsten eingeschaltete äußere Widerstand, so ist die maximale Stromstärke

$$(48) \quad J = \frac{E}{\omega_i + \omega_a}.$$

Für die augenblickliche Stromstärke erhalten wir, wie in der Gleichung (47),

$$(49) \quad i = J \cdot \sin \alpha = \frac{E}{\omega_i + \omega_a} \cdot \sin \alpha.$$

Dabei ist aber vorausgesetzt, daß außer der durch die Drehung der Spule im Felde induzierten E.M.K. keine weitere im Stromkreise auftritt.  $\alpha$  ist die Phase des Wechselstromes bzw. der Spannung.

Braucht die Spule die Zeit  $t$ , um sich bei einer Rotation mit konstanter Geschwindigkeit aus der Anfangslage um den Winkel  $\alpha$  zu drehen, und ist  $T$  die Dauer einer ganzen Umdrehung, so ist

$$t : T = \alpha : 2\pi \quad \text{und} \quad \alpha = \frac{2\pi t}{T}.$$

Ferner ist  $\frac{1}{T} =$  der Anzahl  $n$  der Umdrehungen pro Sekunde und also  $\alpha = 2\pi n t$ . Die augenblickliche E.M.K. ist also

$$(50) \quad e = E \sin \frac{2\pi t}{T}; \quad e = E \sin 2\pi n t.$$

$T$  ist die Dauer einer Periode, und  $n$  die Zahl der Perioden der Sekunde oder die Frequenz des Wechselstromes.  $2\pi$  ist die Wechselzahl (Zahl der Polwechsel) in der Sekunde.

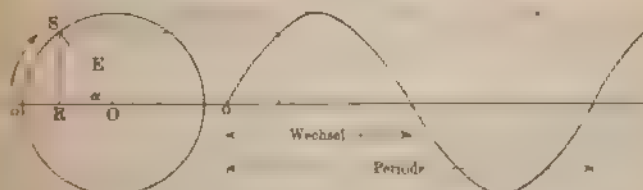
Bezeichnet man  $2\pi n$  mit  $\omega$ , so ist  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Spule bzw. Windung, und wir haben

$$e = E \cdot \sin(\omega t).$$

### Graphische Darstellung der induzierten E.M.K.

Der Radius des Kreises (Fig. 216) sei die in der rotierenden Windung der Spule (Fig. 212) induzierte maximale E.M.K.  $E = 2\pi n \cdot \Phi \cdot N \cdot 10^{-8}$  Volt. Ist die Windungsebene der Spule senkrecht zu den Kraftlinien, ist also  $\alpha = 0$ , so sei der Radius horizontal nach links gerichtet. Dreht sich die Spule im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers, so dreht sich der Radius in

Fig. 216



derselben Richtung mit der gleichen Geschwindigkeit, d. h. mit  $n$  Umdrehungen der Sekunde. Ist die Spule um den Winkel  $\alpha$  aus der Anfangsstellung gedreht, so stellt die Ordinate  $SR$  den augenblicklichen Wert der E.M.K. dar, wenn  $\angle SOR = \alpha$  ist.

$$SR = OS \cdot \sin \alpha = E \cdot \sin \alpha.$$

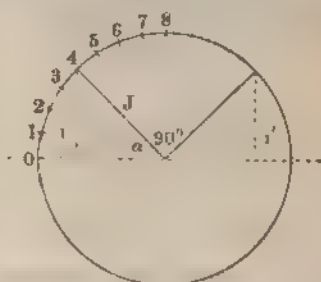
Nach der graphischen Darstellung ändert sich die E.M.K. nach einer Sinuskurve; sie ist in keinem Augenblick konstant, sondern wächst von Null ausgehend zu einem Maximum  $E$  an, nimmt dann ab bis zu Null, kehrt ihre Richtung um, wächst zu einem negativen Maximum an und nimmt schließlich wieder den Wert Null an u. s. w. Nunmehr ist eine Periode vollendet. Für dieselben Betrachtungen gelten für die Stärke des Wechselstromes.

**§ 60. Effektive Stärke und Spannung des Wechselstromes.** Messung derselben. Für die praktischen Anwendungen des Wechselstromes sind weniger die augenblicklichen Stromstärken von Bedeutung

vielmehr die effektive Stärke derselben. Da die Stärke des Wechselstromes nach der in Fig. 216 dargestellten Kurve veränderlich ist, muß die vom Wechselstrommesser angezeigte Stärke besonders klar werden. Die Energie des Wechselstromes, wie die Wirkung Glühlampen, ist nach dem Jouleschen Gesetze dem Quadrate der Stromstärke proportional. Demnach versteht man unter der

effektiven Stärke des Wechselstromes die Quadratwurzel aus dem mittleren Werte der Quadrate aller Stromstärken,

Fig. 217.



die während einer Periode nach der Darstellung Fig. auftreten.

Wir teilen die Periode und damit den Kreisumfang (Fig. 217, s. v. S.) gleiche Teile, wo  $p$  durch 4 teilbar ist. Der Radius des Kreises stellt Maximum  $J$  des Wechselstromes dar. Um die effektive Stromstärke zu erhalten, wäre das Mittel aus allen den  $p$  Teilpunkten entsprechenden Quadrate der Stromstärken  $i$  zu bilden; die Wurzel aus diesem Mittelwerte würde effektive Stromstärke ergeben. Um die Summation der Quadrate auszuüben, betrachten wir zwei Werte der Stromstärke, die um  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ) in der Periode auseinander liegen

$$i = J \sin \alpha, \quad i' = J \sin(\alpha + 90^\circ) = J \cos \alpha.$$

Für die Summe der Quadrate dieser beiden Werte der Stromstärke halten wir

$$i^2 + i'^2 = J^2.$$

Dasselbe gilt unabhängig vom Winkel  $\alpha$  stets für je zwei Stromwerte einer Phasendifferenz von  $\frac{1}{2}$  Periode.

Bilden wir also für alle den  $p$  Punkten des Kreisumfangs entsprechende Stromwerte die obige Summe, in welcher immer die beiden Quadrate  $i^2$  um  $\frac{1}{2}$  Periode voneinander liegenden Stromwerte vorkommen, und addieren wir diese sämtlichen  $p$  Summen, so enthält die Gesamtsumme das Quadrat jedes der  $p$  Stromwerte zweimal.

$$\sum (i^2 + i'^2) = p J^2,$$

da aber

$$\sum (i^2 + i'^2) = 2 \sum i^2,$$

so folgt

$$\sum i^2 = \frac{p \cdot J^2}{2}.$$

Das mittlere Quadrat der Stromstärken ist aber

$$\frac{\sum i^2}{p} = \frac{J^2}{2}.$$

Demnach erhalten wir für die effektive Stromstärke  $i_{eff}$

$$(52) \quad i_{eff} = \sqrt{\frac{\sum i^2}{p}} = \frac{J}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot J.$$

Bei dem durch eine Sinuskurve dargestellten Laufe des Wechselstromes ist die effektive Stärke gleich der maximalen Stärke dividiert durch  $\sqrt{2}$ .

Die effektive Stärke eines Wechselstromes ist gleich der konstanten Stärke eines Gleichstromes, wenn beide Ströme in demselben Widerstande, z. B. im Kohlenfaden einer Glühlampe, dieselbe Warmewirkung hervorbringen.

Zeigt also der in der Zuleitung nach einer Glühlampe eingeschaltete Wechselstrommesser die effektive Stromstärke 1 Amp. an, so steigt bei demartigen Verlaufe der Wechselstrom in Wirklichkeit von 0 auf +

+ 1,41 Amp. an, nimmt dann ab bis zu - 1,41 Amp., um wieder + 1,41 Amp. anzusteigen u. s. f. Die Wirkung dieses Wechselstromes im Kohlenfaden ist aber gleich derjenigen eines Gleichstromes von 1 Amp.



Ändert sich die Wechselspannung zwischen den Polklemmen der beschalteten Glühlampe zwischen den maximalen Werten  $+ 100$  Volt und  $- 100$  Volt nach einer Sinuskurve, so zeigt ein Wechselstromspannungsmesser (siehe S. 164) die effektive Spannung  $100 \cdot 0,707 = 70,7$  Volt an.

Für Wechselstrommessungen sind alle mit permanenten Magneten ausgerüsteten Meßinstrumente (vergl. § 18 und 25) unbrauchbar, weil die algebraische Summe aller Stromwirkungen während einer Periode Null, und das Trägheitsmoment des beweglichen Theiles (Magnetnadel oder Spule) viel zu groß ist, um den raschen Wechseln des Stromes folgen; man würde höchstens ein Zittern des beweglichen Systems beobachten können.

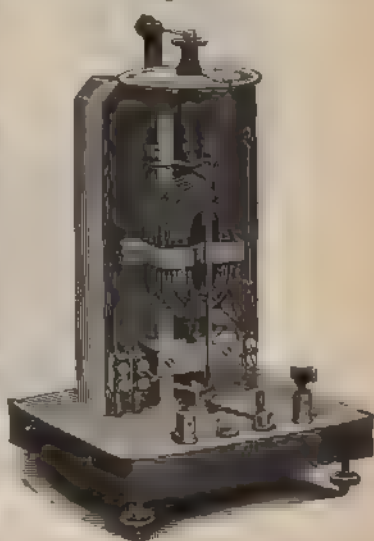
Zur Bestimmung der effektiven Stromstärke des Wechselstromes dient das Torsions-Elektrodynamometer (Fig. 218) von Siemens und Halske.

Dasselbe enthält eine feste Spule mit zwei Wickelungen mit verschiedenen Windungszahlen und Drahtstärken, um zwei verschiedene Meßbereiche zu haben. Die bewegliche Spule besteht meist nur aus einer einzigen Windung in Form eines aus einem einzigen Drahte gebildeten rechteckigen Bügels. Dieser ist an einem Kokon aufhängt und wird durch eine Drahtfeder in der Nulllage gehalten, daß seine Windungsebene senkrecht derjenigen der festen Spule liegt. An beiden Enden des Bügels tauchen zwei Zylinder in zwei übereinander stehende Quecksilbergefäße. Fließt ein Strom durch den Bügel und dann durch eine der festen Spulen, so hat der Bügel das Bestreben, sich so zu stellen, daß seine Windungsebene mit denen der festen Spule parallel und gleich gerichtet wird.

Die Spiralfeder ist mit einem Torsionsknopf verbunden, durch dessen Drehung die Feder so weit angespannt wird, bis der Bügel sich wieder in der Nulllage befindet. Der Winkel, um welchen man die Feder ausspannt, ist auf der Teilung an dem mit dem Torsionsknopf verbundenen Zeiger abgelesen werden und ist dem von der Feder ausgeübten Drehungsmoment proportional. Fließt ein Wechselstrom durch den Apparat, so findet zu gleicher Zeit die Umkehrung der Stromrichtung in der beweglichen und festen Spule statt, weshalb die Richtung der Ablenkung des Bügels die gleiche bleibt. Das Drehungsmoment, welches der Bügel wirkt, ist ferner in jedem Augenblick proportional den Stromstärken in der festen Spule und in dem Bügel, also dem Quadrate der Stromstärke. Der Winkel  $\varphi$ , um welchen die Feder angespannt werden muß, ist der Spule und Bügel wieder im rechten Winkel zueinander stehen, ist dem Quadrate der effektiven Stromstärke proportional, so daß

$$\alpha = c \cdot I^2$$

Fig. 218.



ist, wo  $c$  die Konstante des Instrumentes bedeutet, welche durch Eichung mittels Gleichstrom ermittelt werden muß.

Zur Messung der effektiven Stärke des Wechselstromes sind auch Hitzdrahtinstrumente sehr geeignet, in welchen die Erwärmung des vom Strome durchflossenen Leiters, bzw. die dadurch verursachte Ausdehnung desselben zur Strommessung benutzt wird. Die mit der Erwärmung des Leiters proportionale Ausdehnung wächst im gleichen Verhältnis mit  $i^2$  und ist unabhängig von der Richtung des Stromes. In dem Instrumente von Hartmann und Braun (Fig. 219) wird die Durchbiegung eines Drahtes aus Platin Silber mittels kniebelartiger Übersetzung gemessen.

Da als Hitzdraht nur ein sehr dünner Draht aus Eisen, Nickel oder Platin verwendet wird, so kann die direkte Strommessung nur für geringe

Fig. 219.



Stromstärken stattfinden, für höhere Stromstärken erhält der Hitzdraht aus gewelltem Konstantan- oder Manganblech hergestellten Nebenschleifen (siehe Fig. 37).

Für Spannungsmessungen wird dem Hitzdrahte ein hoher und temperaturfreier Widerstand vorgeschaltet, der meist im Gehäuse des Instrumentes angebracht ist. Bei den Instrumenten dieser Art von Hartmann und Braun sorgt eine magnetische Dämpfung für aperiodische Einstellung des Zeigers. Gegenüber allen magnetischen Meßinstrumenten haben diese elektrischen Instrumente den Vorzug, daß sie von benachbarten Störströmen ihren Angaben unabhängig sind und ohne weiteres für Gleich- und Wechselstrom brauchbar sind. Dabei zeigen diese Voltmeter fast in jeder Lage richtig an und sind z. B. von Schiffsschwankungen sehr unabhängig.

Außerdem werden zur Messung der Wechselströme auch die empfindlichen und billigeren Strommesser mit weichem Eisenkern (Weicheninstrumente (vergl. § 26)) verwendet. Instrumente dieser Art sind nur richtig an bei der Frequenz, für welche sie geeicht sind, und eignen sich auch nur bei der Kurvenform des Wechselstromes, der zur Eichung benutzt

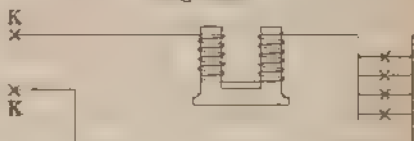
§ 61. Die Selbstinduktion im Wechselstromkreise. Fließt konstanter Gleichstrom durch eine Drahtspule mit oder ohne Eisenkern, so ist der Spannungsverbrauch in derselben in beiden Fällen gleich und wird nach der Gleichung (9) berechnet. Die Selbstinduktion tritt nur auf, wenn die Stärke des Gleichstromes geändert wird (vergl. 30).

Fließt dagegen ein Wechselstrom durch eine Drahtspule, so ist die effektive Spannung erheblich größer, als sie nach der Gleichung (9) sein sollte, besonders wenn die Spule auf einem in sich geschlossenen Eisenkern gewickelt ist.

Der Widerstand, den der Gleichstrom in der Spule überwindet, wird kurz als Ohmscher Widerstand bezeichnet. Der Wechselstromwiderstand einer Spule, deren sämtliche Windungen im gleichen Sinne gewickelt sein sollen, ist erheblich größer als der Ohmsche Widerstand der Spule, und zwar um so mehr, je größere magnetische Permeabilität der Raum im Innern und außerhalb der Spule besitzt, und je mehr Windungen die Spule hat.

1. Zwischen den Polklemmen  $KK$  (Fig. 220) ist eine Wechselspannung von 100 Volt vorhanden. In dem Schließungskreise schalten wir einen Elektromagneten aus Eisenblechscheiben und eine Gruppe von vier parallel geschalteten Lampen (100 Volt, 16 N.K.) miteinander. Die Wickelung des Magneten besteht aus etwa 400 Windungen Kupferdraht und hat den Widerstand  $0,5 \Omega$ . Jede der vier Lampen würde bei nor-

Fig. 220

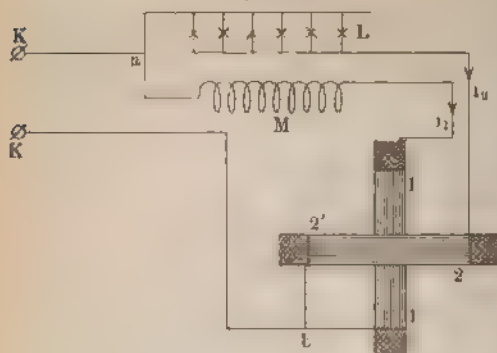


malen Lichtstärke den Strom  $0,5$  Amp. verbrauchen, so daß der nach Gleichung (9) berechnete Spannungsverlust in der Wickelung des Magneten nur  $4 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 1$  Volt sein müßte, so daß also für den Betrieb der Lampen eine Spannung von 99 Volt übrig bleibt. Die Lampen brennen aber mit weit geringerer Spannung, da die Kohlenböden kaum rotglühend werden. Die Lampen erlöschen fast vollständig, wenn wir den magnetischen Kreis des Magneten durch einen auf die Pole gelegten Anker aus Eisenblechscheiben schließen. Ein in die Leitung eingeschaltetes Amperemeter würde anzeigen, daß die Stromstärke fast auf Null gesunken ist, während doch der sogenannte Ohmsche Widerstand nicht geändert ist, und auch die Wechselspannung zwischen den Klemmen  $KK$  ihren Wert behalten hat. Der Grund für das Sinken der Stromstärke liegt vielmehr in der Selbstinduktion, die im Wechselstrom in der Spule auftritt und zusammen mit dem Ohmschen Widerstande den eigentlichen Wechselstromwiderstand oder die Impedanz ausmacht. Die Selbstinduktion in den Glühfäden der Lampen ist sehr gering, so daß sie gegenüber derjenigen der

Drahtspule unberücksichtigt bleiben kann. Die Selbstinduktion trägt also zur Vermehrung des Wechselstromwiderstandes bei.

2. Bei *a* (Fig. 221) verzweigt sich der Wechselstrom, der ein Teil fließt durch die Gruppe *L* parallel geschalteter Lampen und ein

Fig. 221.



Teil fließt durch die Spule 2—2' der andere Teil fließt durch die Spule *M*, welche einen Eisenkern zur Erhöhung ihrer Selbstinduktion enthält und dann durch die Spulen 1—1'. Bei beiden einigen sich die Zweigströme wieder. In Spule 1—1' und 2—2' enthalten einige Windungen und sind in einem rechteckigen

rahmen gewickelt. Die Selbstinduktion der Spulen 1—1' und 2—2' ist sehr gering gegenüber derjenigen der Spule *M*.

Der eine Zweigwiderstand  $L - 2 - 2'$  hat Ohmschen Widerstand, jedoch sehr geringe Selbstinduktion, der andere Zweigwiderstand  $M - 1 - 1'$  hat kleinen Ohmschen Widerstand und große Selbstinduktion. Der Ohmsche Widerstand des einen Zweiges und die Selbstinduktion des anderen lassen sich leicht so wählen, daß beide Zweigströme gleiche effektive Stärke haben.

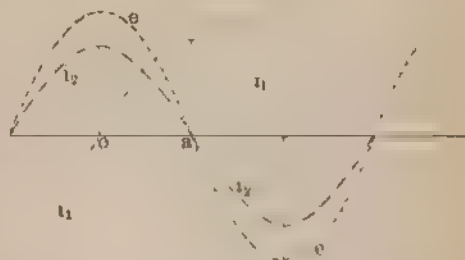
Bringt man eine Magnetnadel in das Innere des Spulenkernes, so gelangt dieselbe in schnelle Rotation. Im Innern der Spulen entsteht ein magnetisches Drehfeld. Außer einer Erhöhung des Widerstandes bringt die Selbstinduktion auch eine Phasendifferenz zwischen der Spannung und der Stromstärke hervor. Während der Strom  $i_2$  in  $L - 2 - 2'$  nahezu in gleicher Phase mit der Spannung  $e$  zwischen den Klemmen *KK* ist, d. h. zu gleicher Zeit sein Maximum erreicht wie die Spannung und zu gleicher Zeit mit derselben die Richtung wechselt, ist der Strom  $i_1$  infolge der Selbstinduktion „aufser Tritt“ mit der Spannung  $e$ , d. h. die Stromstärke  $i_1$  erreicht ihren höchsten Wert später als die Spannung  $e$ . Fig. 223 stellt den Fall dar, in welchem die Phasendifferenz zwischen den Strömen  $i_1$  und  $i_2$  eine Viertelperiode ( $= 90^\circ$  oder  $\pi/2$ ) beträgt, und  $e$  sind in gleicher Phase.

Bei dem in Fig. 221 dargestellten Versuche ist die Phasendifferenz von einer Viertelperiode nur annähernd erreicht, weil weder die eine Leitung nur Ohmschen Widerstand, noch die andere ausschließlich Selbstinduktion hat. Aber auch bei einer Phasendifferenz der Ströme  $i_1$  und

weniger als  $90^\circ$  oder einer Viertelperiode kommt im Innern der Spule magnetisches Drehfeld zustande.

Beginnen wir mit dem Zeitpunkt 0, wo  $i_1$  sein Maximum hat,  $i_2 = 0$ ; in diesem Augenblicke ist 1—1' stromlos, und 2—2' erzeugt ein magnetisches Feld, welches seine größte Stärke hat und dessen Kraftlinien (vergl. 22) zu den Windungsebenen der Spule 2—2' senkrecht stehen. Im Augenblicke  $\alpha$  ist  $i_2 = 0$ , und  $i_1$  seinen höchsten Wert, so ist das Feld der Spule 1—1' seine maximale Stärke. Die Kraftlinien liegen diesem Augenblicke senkrecht zu den Windungsebenen 1—1'. In der Zeit  $\alpha$ , d. h. während einer Viertelperiode, hat sich die Richtung des Feldes allmählich um  $90^\circ$  geändert. Liegen die Kurven, welche den zeitlichen Verlauf der Ströme

Fig. 222.



erstellen, unterhalb der horizontalen Achse, so nimmt die Stromrichtung und damit auch die Feldrichtung in den Spulen, die entgegengesetzte Richtung an. Während jeder Periode macht die Feldrichtung eine volle Umdrehung. Eine kleine im Mittelpunkt aufgestellte Magnetnadel hat das Bestreben, ihre magnetische Achse in die Richtung der Kraftlinien einzustellen; da die letztere aber mit konstanter Geschwindigkeit während jeder Periode sich um  $360^\circ$  ändert, so wird die Magnetnadel in synchrone Drehung mit dem Felde versetzt, d. h. sie macht in derselben Zeit wie das Feld eine volle Umdrehung.

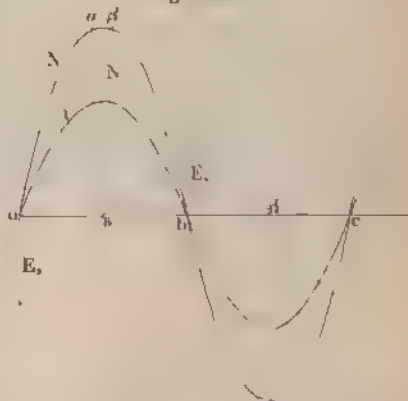
## § 62. Die Selbstinduktion im Wechselstromkreise (Fortsetzung).

Wir betrachten jetzt eine Spule, durch welche ein Wechselstrom fließt. Die Stärke des von der Spule erzeugten magnetischen Feldes ändert sich mit der Zeit wie die Stromstärke (Gleichung 22), wird also ebenfalls durch eine Sinuskurve dargestellt. In Fig. 223 stelle  $i$  die Stromkurve,  $N$  die Kurve, deren Ordinaten die augenblickliche Feldstärke angeben.

Ändert sich aber die Feldstärke im Innern der Spule, so wird in der letzteren eine E.M.K. induziert. Dabei geht die Änderung der Feldstärke in der Spule derselben Weise vor sich wie der in Fig. 213 betrachteten stromlosen Spule. Als Anfangsstellung der letzteren haben wir eben betrachtet, bei welcher die Windungen das Maximum der Kraftlinien umschließen;

die Anfangsstellung wurde also z. B. dem Punkte  $a$ , Fig. 223, entsprechen. Die Größe der in der Spule induzierten E.M.K. kommt die Ge-

Fig. 223.



schwindigkeit in Betracht, mit welcher sich der magnetische Kraftlinienfluß in der Spule ändert. Diese Änderung der Feldstärke ist aber (vergl. Fig. 214) durch den Abfall der Kurve  $N$  gegeben, welcher in den Punkten  $b$  und  $c$  am größten ist. In den Zeitpunkten also, wo der Kraftlinienfluß in der Spule seine Richtung wechselt, der Wechselstrom also gleich Null ist, hat die E.M.K. der Selbstinduktion ihren größten Wert  $E_s$ . Steigt der Wechselstrom an vom Punkte 0 (Fig. 223) während der Viertelperiode 0 bis  $a$ , so wirkt die E.M.K. der Selbstinduktion während derselben Zeit nach § 30 dem Strome entgegen, was dadurch zum Ausdruck kommt, daß die Kurve für die E.M.K. der Selbstinduktion während dieser Zeit unterhalb der horizontalen Achse liegt. Im Zeitpunkte  $a$  liegt ein Element  $\alpha\beta$  der Kurve  $N$  der horizontalen Achse parallel, der Kraftlinienfluß in der Spule ändert sich nicht in diesem Augenblick, und die E.M.K. der Selbstinduktion ist also gleich Null. Nimmt dann der Wechselstrom und damit der Kraftlinienfluß an Stärke ab, so wirkt die E.M.K. der Selbstinduktion in der gleichen Richtung wie der Wechselstrom.

Ist  $n$  die Frequenz des Wechselstromes in der Spule,  $N$  der dem Maximum der Wechselstromstärke in der Spule entsprechende magnetische Kraftlinienfluß, und ist  $s$  die Zahl der Windungen der Spule, so ist das Maximum der E.M.K. der Selbstinduktion entsprechend der Gleichung (47a)

$$(54) \quad E_s = 2\pi n s N \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

$N$  hängt dabei in hohem Grade von der Permeabilität des die Windungen der Spule umgebenden Raumes ab, und die Selbstinduktion ist daher in Spulen mit Eisenkern (Drosselspulen) besonders groß. Sie tritt auch auf in einer geradlinig gezogenen Leitung, besonders wenn diese in einem Eisenrohr liegen würde.

Aus der Figur 224 ergibt sich, daß die E.M.K. der Selbstinduktion um eine Viertelperiode später das Maximum erreicht als der Wechselstrom; während dieser bereits in  $a$  seinen Höchstwert erhalten hat, nimmt die E.M.K. der Selbstinduktion erst in  $b$  ihren größten Wert an. Die Strecke  $ab$  entspricht aber der Dauer einer Viertelperiode. Der Wechselstrom und die E.M.K. der Selbstinduktion haben also eine Phasendifferenz von  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ).

Stellt demnach der um den Punkt  $O$  (Fig. 224) mit konstanter Winkelgeschwindigkeit in der Richtung des Pfeiles sich drehende Radius  $OA$  die maximale Stromstärke dar, so gibt  $AC$  die in einem Augenblick vorhandene Stromstärke  $i = J \sin \alpha$ . Der Radius  $OB$ , welcher das Maximum der E.M.K. der Selbstinduktion darstellt, bildet mit  $OA$  nach den vorigen Betrachtungen einen Winkel  $\pi/2 = 90^\circ$ . Bei der angenommenen Drehrichtung des Radius  $OA$  wächst die Stromstärke an. Die E.M.K. der Selbstinduktion wirkt dem Anwachsen des Stromes entgegen. Dann ist  $BD$  der augenblickliche Wert  $e_s$  der E.M.K. der Selbstinduktion, welcher zur Stromstärke  $AC = i$  gehört. Rotieren die beiden Radien  $OA$  und  $OB$  im Winkelabstand von  $90^\circ$  mit konstanter Geschwindigkeit und  $n$  Umdrehungen in der Sekunde ( $n =$  Frequenz) um  $O$ , so stellen die von  $A$  und  $B$  auf die horizontale Achse gefällten Lote für jede Lage bezw. die augenblickliche Stärke des Wechselstromes und die zugehörige augenblickliche E.M.K. der Selbstinduktion dar.

Fließt also ein Wechselstrom durch einen Leiter mit Selbstinduktion, z. B. eine Drahtspule, so muß die Spannung zwischen den Klemmen desselben erstens den Wechselstrom durch den nach der Gleichung (7) berechneten Widerstand  $w$  der Spule treiben. Da der Widerstand  $w$  der Spule konstant ist, so ändert sich dieser Teil der Spannung wie die Stromstärke entsprechend der Gleichung (9). In Fig. 225 stelle der Radius  $OB$  das Maximum  $J$  der



Stärke des Wechselstromes dar,  $OC$  sei  $J \cdot w$ , also die Spannung, welche das Maximum des Stromes nach dem Ohmschen Gesetze durch den Widerstand treibt.

$OD$  stellt ferner das Maximum der E.M.K. der Selbstinduktion der Spule dar. Die Lote  $CC'$ ,  $BB'$  und  $DD'$  sind zusammengehörige Augen-

Fig. 225.

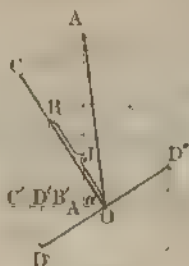
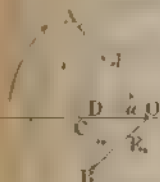


Fig. 224.



blickswerte des Spannungsverlustes durch den Ohmschen Widerstand, der Stromstärke und der E.M.K. der Selbstinduktion. Die Spannung zwischen den Klemmen der Spule muß aber zweitens eine Komponente haben, welche die Selbstinduktion überwindet. Demnach ist das Maximum der Spannung zwischen den Klemmen der Spule durch die Strecke  $OA$  dargestellt, deren Komponenten  $OC$  und  $OD''$  sind.  $OD''$  reicht zur Überwindung der Selbstinduktion aus.  $AA'$  ist der augenblickliche Wert der Spannung zwischen den Klemmen der Spule. Rotieren die Strecken  $OD$ ,  $OB$  und  $OA$  in fester Verbindung zueinander um den Punkt  $O$ , so stellen die von dem Punkte  $A, B, D$  gefällten Lote für jede Phase bezw. den augenblicklichen Wert der Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen der Spule, die Stromstärke  $i$  und die Selbstinduktion  $e_s$  in derselben dar. Bei dieser Rotation kommt  $OA$  früher in eine zur horizontalen Achse vertikale Lage als  $OB$  bzw.  $OC$ , d. h. die Spannung zwischen den Klemmen der Spule erreicht infolge der Selbstinduktion ihren maximalen Wert eher als die Stromstärke. Läßt man die Strecken  $OD$ ,  $OC$  und  $OA$  in fester Verbindung rotieren, und trägt man für jeden Zeitpunkt der horizontalen Achse die zusammengehörigen Werte der Spannungsdifferenz, des Spannungsverbrauchs infolge des Ohmschen Widerstandes, sowie der Selbstinduktion auf, so ergeben sich die Kurven  $E$ ,  $J \cdot w$  und  $E_s$  (Fig. 226).

Während die Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen der Spule bereits nach  $t_1$  Sekunden das Maximum erreicht hat, erlangt infolge der Selbstinduktion die Stromstärke später und zwar erst nach  $t_2$  Sekunden ihren höchsten Wert.

Aus der Fig. 226 ergibt sich ferner

$$(55) \quad E^2 = (J \cdot w)^2 + E_s^2,$$

und die Phasendifferenz der Spannung gegen die Stromstärke ist durch den Winkel  $\varphi$  gegeben, indem

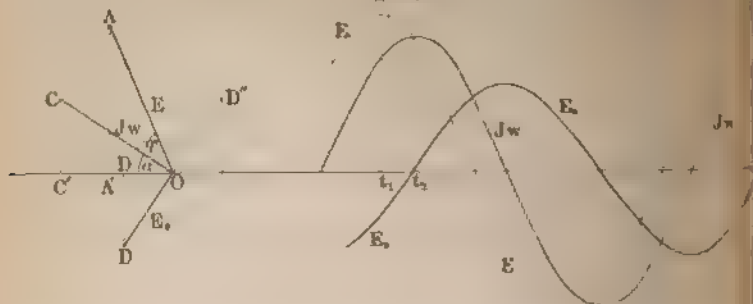
$$(56) \quad \tan \varphi = \frac{E_s}{J \cdot w}$$

ist. Entweder ein Wechselstrom durch einen Widerstand ohne Selbstinduktion, z. B. durch eine bifilar gewickelte Drahtspule (der Kohlenfaden einer Glüh-



lampe ist praktisch genommen ohne Selbstinduktion), so ist  $E_s$  gleich  $E$  und  $\varphi = 0$ , d. h. der Strom ist in gleicher Phase („in Schritt“) mit der Spannung, und die Strecken  $OA$  und  $OC$  in Fig. 227 fallen zusammen. In diesem Falle haben die Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen

Fig. 226



Widerstandes und die Stromstärke zu gleicher Zeit ihre höchsten Werte erreichen, und die Stromstärke geht von der einen Richtung in die andere über in denselben Augenblicke, wo die Spannungsdifferenz ihre Richtung wechselt.

### § 63. Das Ohmsche Gesetz für Wechselstromkreise.

Nach der Gleichung (54) haben wir für das Maximum der Selbstinduktionsspannung der vorhin betrachteten Spule

$$(57) \quad E_s = 2\pi n z N 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Da  $N$  selbst proportional der maximalen Stärke des Wechselstromes und der Windungszahl der Spule ist, so ist die Selbstinduktion des Quadrates der Windungszahl der Spule proportional.  $N$  hängt ferner von der Permeabilität des Mediums ab, das die Windungen der Spule umgibt.

Nehmen wir an, daß die Permeabilität konstant ist, was streng genommen nur für die Luft ( $\mu = 1$ ) gilt und annähernd für Eisen, das weit von seiner magnetischen Sättigung entfernt ist, so dürfen wir also

$$N = \gamma \cdot J \cdot z$$

setzen, wobei  $\gamma$  als Konstante betrachtet wird. Setzt man diesen Ausdruck ein in (57), so ergibt sich für die maximale E.M.K. der Selbstinduktion

$$(58) \quad E_s = 2\pi n z^2 \gamma \cdot J \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Für hohe magnetische Induktion im Eisen hängt  $\gamma$  selbst von der Induktion ab (vergl. Tabelle S. 41).

$z^2 \gamma$  bezeichnen wir als den Selbstinduktionskoeffizienten  $L$  der Spule, der beim Eisen ebenfalls von der magnetischen Induktion abhängt.

Der Koeffizient  $L$  der Selbstinduktion wird in „Henry“ gemessen. Benutzung dieser Einheit ergibt sich

$$(59) \quad E_s = 2\pi n L J \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Führt man diesen Wert in die Gleichung (55) ein, so erhalten wir

$$I^2 = J^2 \{w^2 + (2\pi n L)^2\}$$

oder

$$(60) \quad I = \frac{J}{\sqrt{w^2 + (2\pi n L)^2}}$$

Die Gleichung (80) stellt den mathematischen Ausdruck des Ohmschen Gesetzes für Wechselstromkreise dar.

Der Wechselstromwiderstand oder die Impedanz ergibt sich (Fig. 227) als Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen Katheten bzw. der Ohmsche Widerstand des Schließungskreises und der induktive Widerstand  $2\pi nL$  desselben sind.

Da die effektiven Werte der Spannung und der Stromstärke nach der Gleichung (52) aus dem maximalen Werte durch die Multiplikation mit  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  erhalten werden, so gilt die Gleichung (80) auch ohne weiteres für die effektiven Werte:

$$81) \quad \text{Effektive Stromstärke} = \frac{\text{Effektive Spannung}}{\text{Wechselstromwiderstand}}.$$

Für die Phasendifferenz  $\varphi$  zwischen der Spannung und der Stromstärke erhalten wir

$$82) \quad \tan \varphi = \frac{2\pi nL}{w}.$$

§ 64. Energie des Wechselstromes. Wattmeter. Fließt ein Wechselstrom, dessen effektive Stärke  $i$  Ampère ist, durch einen Leiter, und ist  $e$  die effektive Spannung zwischen den Klemmen des Leiters, so ist die im Leiter verbrauchte elektrische Energie

$$83) \quad A = e \cdot i \cos \varphi \text{ Watt,}$$

wenn  $\varphi$  die Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem Strom ist.

Bei induktionsfreien Widerständen erhalten wir einfach

$$84) \quad A = ei \text{ Watt,}$$

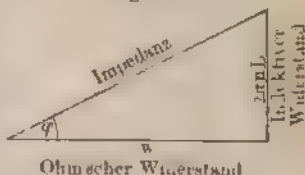
weil bei diesen  $\varphi = 0$  und  $\cos \varphi = 1$  ist.

Fig. 228a stellt die Kurve des Energieverbrauches in Watt dar für den Fall, daß die Spannungsdifferenz und der Strom in gleicher Phase sind. Die Radien  $E$  und  $J$ , die bezw. das Maximum der Spannungsdifferenz und der Stromstärke vorstellen, fallen zusammen.

Die Energie- (Watt-) Kurve liegt ganz oberhalb der horizontalen Achse, und ihre Ordinaten sind in jedem Augenblicke gleich dem Produkte der entsprechenden Ordinaten der Strom- und Spannungskurve. Die von der Wattkurve und der horizontalen Achse vom  $360^\circ$  eingeschlossene Fläche stellt die Energie des Wechselstromes pro Periode dar.

Fig. 228b gibt die Energiekurve für eine Phasendifferenz von  $30^\circ$  zwischen der Spannung und dem Strom. Hierbei liegt bereits ein Teil der Energiekurve unterhalb der horizontalen Achse, die von diesem Teile begrenzte Fläche als negative Leistung zu rechnen und von der oberhalb der Achse dargestellten in Abzug zu bringen. Die negative Leistung wächst noch mehr, wenn die Phasendifferenz auf  $60^\circ$  (Fig. 228c) ansteigt. Bei  $90^\circ$  Phasendifferenz (Fig. 228d) sind die von der Wattkurve oberhalb und unterhalb der Achse begrenzten Flächen gleich, d. h. der Gesamtbetrag der Leistung ist in Übereinstimmung mit der Gleichung (83) gleich Null.

Fig. 227.



Der Energieverbrauch bei Gleich- und bei Wechselstrom kann mit dem Wattmeter oder Leistungsmesser ermittelt werden.

Fließt ein Gleichstrom durch einen Widerstand, so würde sich bei der Messung der Stromstärke und der Spannung zwischen den Klemmen

Fig. 228 a.

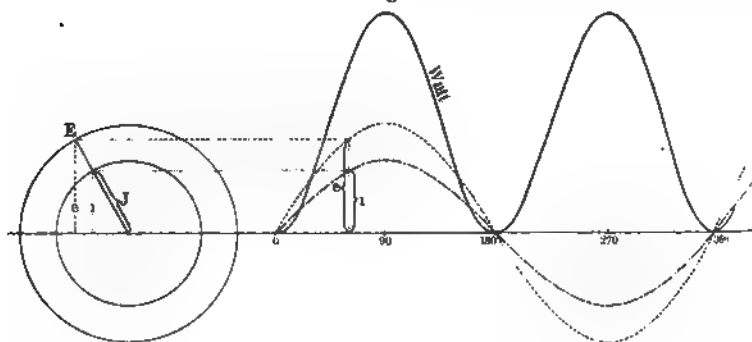


Fig. 228 b.

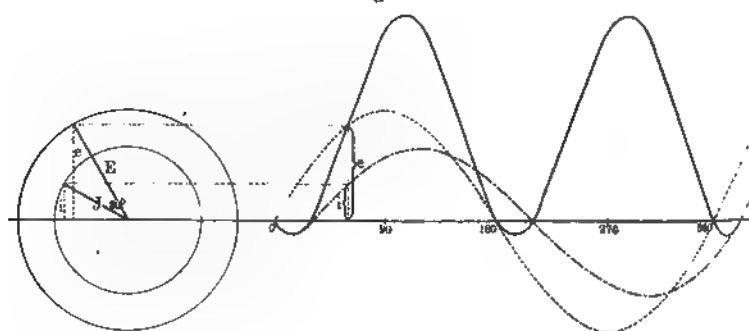
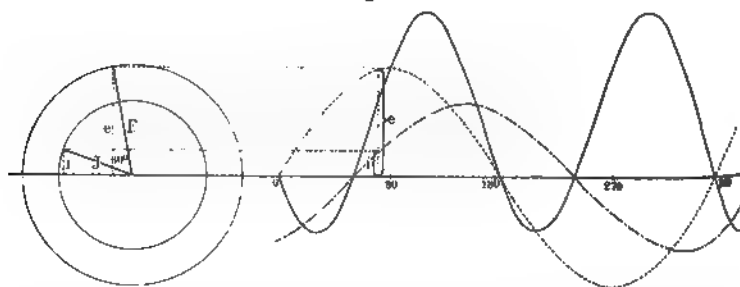


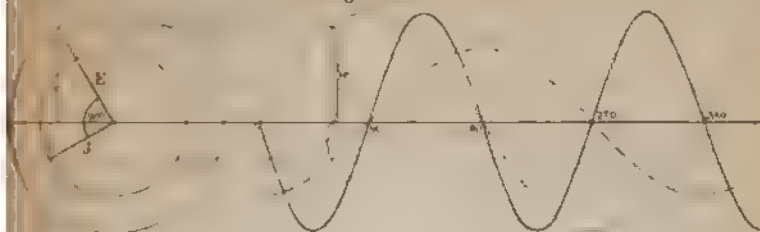
Fig. 228 c.



des Widerstandes nach der Gleichung (64) direkt der Energieverbrauch im Widerstande ergeben. Bei Wechselstrom dagegen erhalten wir durch das Produkt aus Stromstärke  $\times$  Spannung nur den scheinbaren Energieverbrauch, wenn der Widerstand selbst

aktion hat. Für induktive Widerstände genügt also nicht die Messung der Stromstärke und der Spannung, sondern es muß zugleich die Phasenverschiebung zwischen beiden berücksichtigt werden.

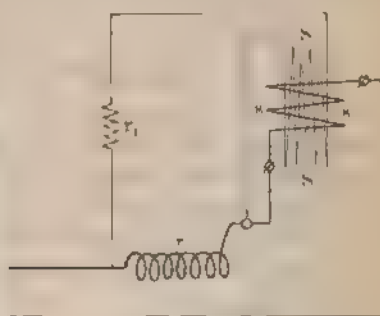
Fig. 228 d



Das Wattmeter gibt direkt die in induktionsfreien und induktiven Widerständen verbrauchte elektrische Energie an und ist folgendermaßen eingerichtet. An Stelle der einen Windung aus dickem Kupferdraht im Elektrodynamometer (Fig. 218) ist eine Spule mit großem Widerstand aus zahlreichen

Fig. 229.

Fig. 230.



Windungen gesetzt. In Fig. 229 ist das von Siemens und Halske, A. G. Berlin, für Messungen im Laboratorium angefertigte Wattmeter dargestellt. Zur Erweiterung des Meßbereiches sind zwei feste Spulen (Stromspulen) vorhanden. Rechtwinklig zu diesen hängt an einem Kokonsfaden die bewegliche Spule (Spannungsspule).

Soll die im Widerstande  $r$  (Fig. 230) verbrauchte Energie gemessen werden, so ist mit den Klemmen von  $r$  die bewegliche Spannungsspule  $S$  verbunden, eventuell unter Zwischenschaltung eines Widerstandes  $r_1$ . Die Stromspule  $s$  ist dagegen mit dem Widerstande  $r$  in Reihe geschaltet. Je mehr Spannung in  $r$  verbraucht wird, desto größer ist der Strom in  $SS$ .

Die bewegliche Spule sucht sich unter dem Einflusse der Ströme, wie bei dem Elektrodynamometer, so zu stellen, daß die Windungsflächen der festen und der beweglichen Spule einander parallel stehen. Durch die Torsionsfeder wird die bewegliche Spule wieder in eine zur festen senkrechte Lage gebracht. Der Winkel, um welchen die Spiralfeder angespannt wird, ist dann der Energieverbrauch proportional. Eine Korrektur der Ableseung ist in den meisten Fällen deshalb erforderlich, weil wegen der Selbstinduktion der Spannungsspule der Strom in derselben nicht mit der Spannung zwischen den Klemmen des Widerstandes  $r$  in gleicher Phase ist. Um diese Phasendifferenz möglichst klein zu machen, wird der Spannungsspule meistens ein großer induktionsfreier Widerstand vorgeschaltet.

Bei der Schaltung Fig. 230 ist ferner zu beachten, daß außer dem Strom in  $r$  auch der Strom der Spannungsspule durch die Stromspule  $r$  und daher die Ablenkung um ein Geringes zu groß ausfällt.

Bei anderen Wattmetern wird die Spannungsspule festgelegt, während die Stromspule in derselben Weise wie beim Elektrodynamometer (Fig. 229) beweglich ist.

## Achtes Kapitel.

### Die Wechselstrommaschinen.

§ 65. Allgemeines und Einteilung der Wechselstrommaschinen. Wir haben bereits in § 59 (vergl. Fig. 212) eine einfache Wechselstrommaschine besprochen. Einer vollen Umdrehung der Spule entspricht dabei eine Periode des Wechselstromes.

Wir betrachten zunächst einige andere einfache Wechselstrommaschinen. Fig. 231 stellt einen Ringanker mit zwei hintereinander-

Fig. 231.

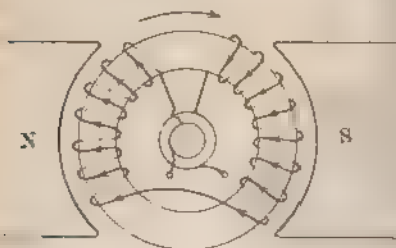
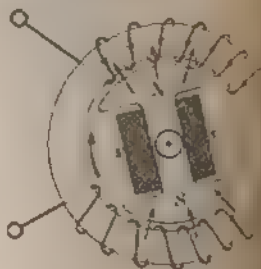


Fig. 232.



geschalteten gleichen Spulen dar, deren Mitten sich diametral gegenüber liegen. Der Anker rotiert zwischen zwei feststehenden Polen. Jede Spule bedeckt ungefähr ein Viertel des Ringumfangs. Auf der Welle des Ringes sind nebeneinander zwei isolierte Metallringe festigt, auf denen die Bürsten schleifen. Die in den Spulen induzierte E. M. K. ist am größten, wenn die Spulenmitte und Polmitte zusammenfallen, in diesem Augenblicke schneiden alle Drähte an

seits des Ankers Kraftlinien. Geht die Spulenmitte durch die zentrale Zone, so ist die E.M.K. gleich Null. Jeder ganzen Umdrehung des Ringes entspricht eine Periode der E.M.K.

In Fig. 232 haben wir einen feststehenden Ring mit denselben Spulen wie in Fig. 231. Im Innern des Ringes rotiert ein zweipoliger Elektromagnet, dessen Erregerspule Gleichstrom durch zwei auf der Mitte befestigte Schleifringe mit Bürsten erhält.

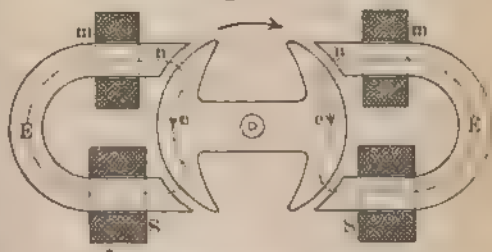
In den betrachteten Fällen haben wir der Einfachheit wegen einen Ring mit nur zwei Spulen und einem zweipoligen Magneten gewählt. Bei in der Praxis ausgeführten Wechselstrommaschinen schaltet man eine größere Anzahl Drahtspulen entweder hintereinander oder parallel. Um außerdem eine größere Anzahl Perioden pro Sekunde zu erhalten, hat das Magnetgestell mehrere Polpaare. Diese Anordnungen sollen später besprochen werden.

Während bei Gleichstromdynamos die induzierten Spulen mit dem Anker in Bewegung sind und der induzierende Teil — der Feldmagnet — feststeht, ist es bei Wechselstromdynamos gleichgültig, ob der induzierte oder der induzierende Teil die Bewegung ausführt; wir werden sogleich sehen, daß beide Teile sogar feststehen können, während nur der Widerstand des magnetischen Kreises der Dynamo durch einen rotierenden Eisenkörper verändert wird.

In diesem Falle stehen die Eisenkörper  $E$  (Fig. 233) fest; an einem Schenkel derselben liegt die induzierende Spule  $m$ , durch

welche ein konstanter Gleichstrom fließt, auf dem anderen Schenkel befindet sich die induzierte Spule  $S$ , in welcher Wechselstrom herbeigebracht wird. Zwischen den vier Polen der Magnete dreht sich ein Körper  $ee$  aus weichem Eisen. Der Kraftfluß zwischen den beiden Polen jedes der beiden Magnete ist am größten, wenn der Eisenkörper die in Fig. 233 dargestellte Lage hat.

Fig. 233.



Im Innern der Spulen  $SS$  ändern dabei die Kraftlinien nicht ihre Richtung, sondern wegen der veränderlichen Permeabilität des Raumes zwischen Polen schwankt der Kraftlinienfluß zwischen dem Minimum und Maximum auf und ab, wie die Ordinaten der Fig. 234. Bei den für den praktischen Betrieb ausgeführten Dynamos ist die Anordnung meist derartig, daß die Feldstärke zwischen Null und einem Höchstbetrage schwankt. Dynamos, welche auf diesem Prinzip beruhen, sind solche der Gleichpoltype, Induktortype oder Induktionstype.

Dagegen ändert sich der Kraftlinienfluß in den induzierten Spulen (Fig. 231 und 232) von einem positiven Maximum durch den Wert

Null zu einem negativen Maximum und wieder durch Null zu einem positiven Maximum u. s. f., weil die Kraftlinien die induzierten Spulen bald in der einen, bald, nach einer Drehung des Ankers um  $180^\circ$ , in der entgegengesetzten Richtung durchsetzen. Bei den Maschinen dieser

Fig. 234.

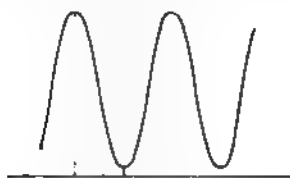
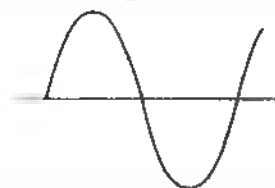


Fig. 235.



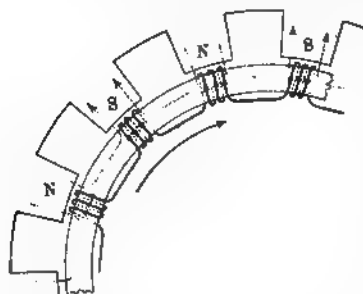
Art ändert sich also der magnetische Kraftlinienfluß in den Anker-  
spulen zwischen einem positiven Maximum und einem negativen Maxi-  
mum und wird also durch die Ordinaten der Kurve (Fig. 235) dar-  
gestellt. Wechselstromdynamos nach diesem Prinzipie sind solche  
der Wechselpoltype.

Bei den Wechselstromdynamos kann der mehrpolige Feldmagnet  
entweder innerhalb oder außerhalb des Ankers angebracht sein. Wir  
unterscheiden daher zwischen Innenpol- und Außenpolmaschinen.  
In beiden Fällen kann entweder der Anker oder das Magnetgestell  
rotieren.

§ 66. Ankerwickelungen für Wechselstromdynamos. Die  
Ankerwickelungen zeigen eine große Mannigfaltigkeit. Wir wollen  
aus den verschiedenen Ausführungen nur einige herausgreifen.

1. In Fig. 236 ist um einen Ringanker herum ein Kranz von Polen an-  
geordnet, und zwar wechseln Nord- und Südpole miteinander ab. Die Pole stehen  
fest, und der Ring rotiert. Auf dem letzteren sind so viel Spulen angebracht,

Fig. 236.



als Pole vorhanden sind, und der Ab-  
stand zwischen den Mitten zweier auf-  
einander folgender Spulen ist gleich  
dem Abstände der Mitten zweier auf-  
einander folgender Pole. Der Er-  
fachheit wegen ist jede der Spulen mit  
drei Windungen gezeichnet und als  
Ankerspulen sind in Serie zwischen  
zwei auf der Welle des Ankers ver-  
einbar isolierten Kollektorrings ge-  
schaltet.

Die wirksamen Teile der Wicke-  
lung liegen an der Außenseite des  
Ankers. Fallen Spulenmitten und Pol-  
mitten zusammen, so ist die in der

Spulen induzierte E. M. K. am größten. Liegt die Spule in der Mitte zwischen  
zwei Polen, so ist der magnetische Kraftfluß in ihr am größten, und  
die induzierte E. M. K. ist Null und wechselt ihre Richtung. Hat die Spule  
sich um den Abstand zweier Pole weiter gedreht, so hat die induzierte E. M. K.  
wieder denselben Betrag.



Ist  $p$  die Zahl der Polpaare, also  $2p$  die Anzahl der Pole, und macht der Anker in der Minute  $n$  Umdrehungen, so ist die

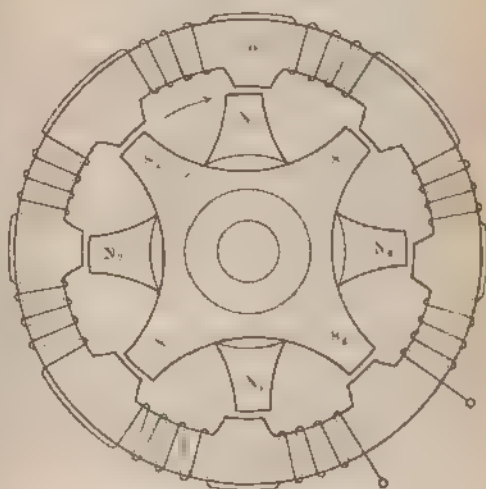
$$\left. \begin{aligned} \text{Zahl der Perioden pro Sekunde} &= \frac{p \cdot n}{60} \\ \text{Zahl der Wechsel pro Sekunde} &= \frac{2 \cdot p \cdot n}{60} \end{aligned} \right\} \quad (65)$$

Fig. 236 stellt eine Wechseelpoltype mit Ringankerwicklung und feststehenden Außenpolen dar.

Um den Ringanker besser auszunutzen, könnte man zwischen den in Fig. 236 eingezeichneten Spulen eine zweite Serie von ebenso beschaffenen Spulen anbringen, so daß jede Spule der einen Serie immer in der Mitte zwischen zwei benachbarten Spulen der anderen Serie liegt. Diese zweite Serie von Spulen ist ebenfalls zwischen zwei auf der Welle befestigten Kollektoringen eingeschaltet. Von der Maschine lassen sich dann zwei Wechselströme gleicher Wechselzahl entnehmen, und zwischen den Kollektoringen jedes Paares ist dieselbe Wechselspannung vorhanden. Während die eine Wechselspannung über ihren höchsten Wert hat, ist die andere gleich Null, und zwischen den Bürsten jedes Paares zwei induktionsfreie Widerstände eingeschaltet, so würden die Ströme in diesen Widerständen eine Phasendifferenz von  $90^\circ$  (eine Viertelperiode) haben. Zwei solche Ströme sind bereits oben (vergl. § 61) betrachtet.

2. In Fig. 237 ist schematisch eine Wechselstrommaschine mit feststehenden Ringanker dargestellt. Innerhalb des Ringankers dreht sich ein Kranz

Fig. 237.



Auch hier sind alle magnetisierten Spulen zwischen zwei festen Polpaaren in Serie geschaltet.

Der Feldmagnet (Fig. 237) enthält acht Polepaare: der magnetische Induktionsfluß verteilt sich in vier gleichnamige Zonen. Dabei greifen die ungleichnamigen Pole klauenartig ineinander ein (Fig. 238 und 239). Zur Erregung des Magneten ist nur eine Spule vorhanden, deren Achse mit der des Ringankers zusammenfällt, und deren Enden an zwei auf der Welle befestigte Bürstenträger (Fig. 238) gelegt sind, die zur Zu- und Ableitung des Erregungsstromes dienen.

Fig. 237 stellt also eine Wechseelpoltype mit Ringanker und mit rotierenden Innenpolen dar.

3. Fig. 240 ist das Schema einer Wechselstromdynamo mit Trommelwicklung und Außenpolen. Auf der Oberfläche des Ankers liegen die Ankerleiter in Nuten. Sämtliche wirksamen Drähte sind in zwei Gruppen geschaltet, die auf der vorderen und der hinteren Stirnfläche

Fig. 238.

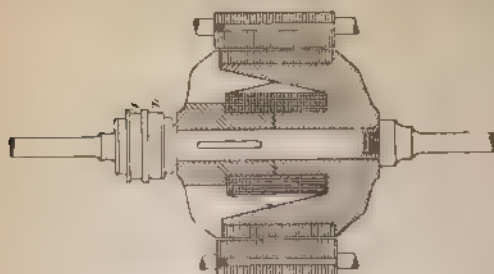
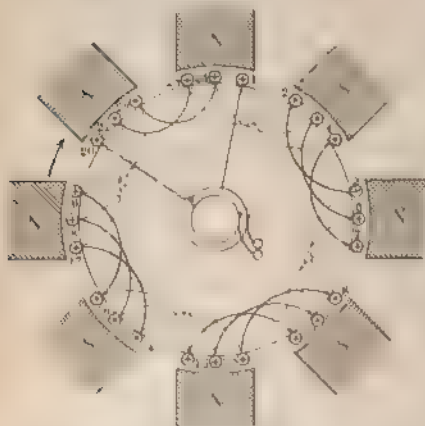


Fig. 239.



geschaltet. Die Wicklung des Ankers ist, in eine Ebene ausgelegt, in Fig. 241 dargestellt. Hierbei sind die Verbindungen auf der vorderen und der hinteren Stirnfläche durch gebrochene Linien dargestellt. Der Trommelanker (Fig. 240) hat 20 Spulenwicklung. Die Drähte 20 sind mit den Schleifkontakten verbunden.

Fig. 240.



Bei der in Fig. 240 dargestellten Lage des Ankers ist die induzierte E.M.K. am größten. Wenn sich die Ankerleiter vor den Polflächen bewegen, halbiert sich die induzierte E.M.K. auf ihren höchsten Wert. Wenn die wirksamen Ankerleiter einander vor den Polflächen verschwinden, nimmt die induzierte E.M.K. allmählich ab und wird gleich Null, wenn die Ankerleiter von je drei Drähten zwischen zwei Polen liegen. Die Kurve der E.M.K. weicht

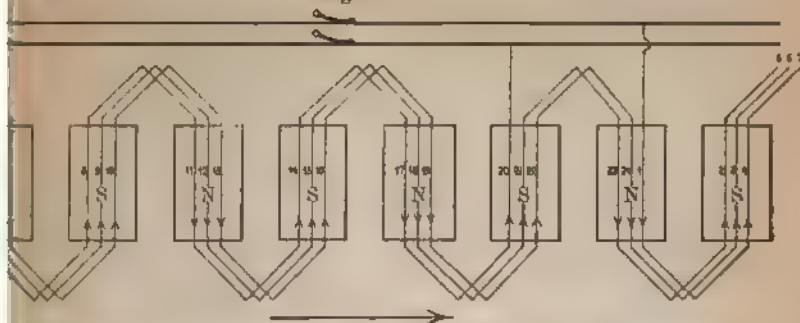
von der Sinuskurve ab und hat etwa den in der Fig. 242 dargestellten Verlauf. Die Gestalt hängt übrigens von der Polbreite, dem Abstand der Polmitten und der Breite ab, welche jede der acht Gruppen wirksamer Ankerleiter einnimmt. In Wirklichkeit wird die Zahl der wirksamen Ankerleiter erheblich größer gewählt als in Fig. 241.

Übrigens kann der Trommelanker auch eine Schleifenwicklung erhalten.

4. Trommelanker mit nebeneinander gelegten Spulen (Zusammenbau), Fig. 243 und 244. Die Spulen werden entweder auf den Anker aufgelegt oder die Spulenseiten (die wirksamen Drähte) werden in Nuten am Umfange des Ankers untergebracht, so daß die Windungen der Spulen der Ankerweile parallel liegen. In Fig. 244 ist die Spulenwicklung teilweise in eine Ebene ausgebreitet, sie enthält acht gleiche Spulen, die in Serie geschaltet sind. Die Spulen sind unter sich an einer der

Ankers verbunden. Jede Spule enthält der Übersicht wegen nur vier Windungen, in Wirklichkeit wird die Zahl der Windungen erheblich größer ge-

Fig. 241



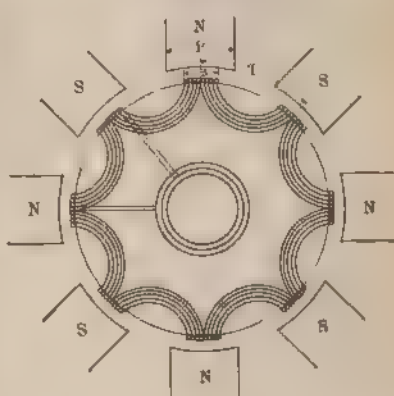
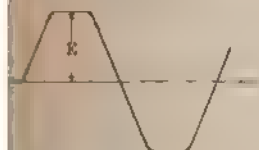
ht. Von der Spulenbreite  $s$  (Fig. 243), sowie von dem Verhältnis der Breite  $P$  zum Abstände  $T$  der Polmitten hängt die Form der Kurve der magnetisierten E.M.K. ab.

Auch die in Fig. 243 dargestellte Wechselstromdynamo gehört zu den eiseelpoltypen.

5. Zackenwicklung. Die allgemeine Anordnung zeigt Fig. 245. Und die über die nach innen gekehrten Ansätze eines Ringes geschobenen

Fig. 242.

Fig. 243.

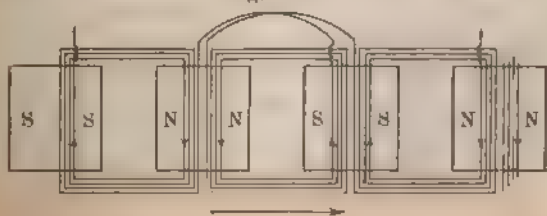


zienten Spulen, welche entweder alle hintereinander oder zwei oder mehreren Reihen parallel geschaltet sind. Den Anker steht eine gleiche Anzahl von Polen gegenüber, abwechselnd Nord- und Südpole, durch Gleichstrom erregt.

Rotiert der Polkranz, während der Ring mit den Spulen  $s-s$  feststeht (Innenmaschine), so wird den Magnetspulen der Strom durch zwei auf der

be befestigte und voneinander isolierte Schleifringe zugeführt.

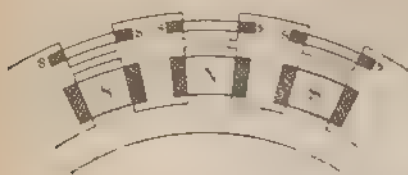
Fig. 244.



Die in Fig. 245 dargestellte Anordnung kann man auch umkehren, dem die Pole des Feldmagneten außerhalb des Ringes liegen und feststehen während in dem von den Polen umschlossenen Raum der Zuckermotor rotiert (Aufsenpolmaschine).

Die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Schuckert & Co. hat die in Figuren 246 bis 248 in schematischer Weise dargestellten Wechselstrommaschinen konstruiert:

Fig. 245.



stellt eine Wechselstrommaschine dar, und jeder trägt seine eigene Erregerspule. Der rotierende Anker ist ein Ring, der auf ihm angebracht. Bei Umdrehung wird der Wechselstrom durch zwei Schleifringe entnommen, von denen der eine rechts, der andere links vom Anker auf der Welle festigt ist.

Bei der in Fig. 247 dargestellten Type stehen die Spulen fest, in welchen der Wechselstrom induziert wird. Diese Spulen sind an der Innenseite eines Ringes in Nuten eingelegt, wie dies für einen Anker mit Aufsenpolen.

Fig. 246.

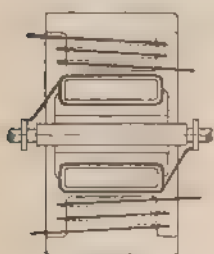


Fig. 247.

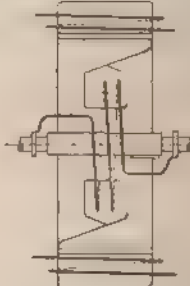
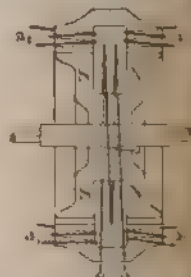


Fig. 248.



in Fig. 244 dargestellt ist. Im Innern des Ringes rotiert ein magnetischer Magnet von der in Fig. 238 dargestellten Form.

Die Type (Fig. 248) ist eine Gleichpoltype. Der Eisenring mit induzierten Spulen  $a_1, a_2$  steht fest, innerhalb desselben rotiert ein Polrad doppelter Zackenreihe. Auch die große Erregerspule steht fest. In diesem Falle haben wir also nur einen rotierenden Eisenkörper, der die Permeabilität in der Nähe der Spulen verändert. Liegen die Zacken des Polrades vor den Spulen  $a_1, a_2$ , so ist der Kraftlinienfluß in den letzteren am größten. Bei der Spule  $a_1$  gehen die Kraftlinien stets in derselben Richtung, während die Spule  $a_2$  entgegengesetzte Pole hat wie die Spule  $a_1$ .

§ 67. E.M.K. der Wechselstromdynamo, Polklempspannung und Leistung derselben. Für die E.M.K. der Wechselstromdynamomas ergibt sich eine ähnliche Gleichung wie für die Gleichstromdynamomas. Ist  $s$  die Zahl der in Reihe geschalteten Schleifringe,  $\Phi$  der Kraftlinienfluß, der aus jedem Nordpol in den Anker übergeht,  $n$  die Tourenzahl des Ankers bzw. des Magneten und  $p$  die Zahl der Polpaare, so haben wir für die effektive E.M.K.

$$E = \frac{k \cdot n \cdot p \cdot s \cdot \Phi}{60} \cdot 10^8 \text{ Volt.}$$

$k$  ist dabei ein Faktor, der von der Kurvenform des Wechselstromes abhängt.

Bezüglich der Kurvenform gelten die Bemerkungen in § 86, 4. Dieselbe hängt von der Ausführung der Wicklung ab, sie wird auch von der Art und GröÙe der Belastung der Dynamo beeinflusst. Auf diese Verhältnisse gehen wir hier nicht weiter ein. Keine Kurvenform hat für alle praktischen Anwendungen den gleichen Wert. Für den Betrieb von Transformatoren eignen sich am besten spitze Kurven, weil bei diesen die Verluste durch Hysteresis und auch die Magnetisierungsarbeit geringer ausfallen als bei flachen Kurven. Da die Isolation nach dem Höchstwerte der Spannung bemessen wird, so muß sie bei spitzen Kurven noch sorgfältiger als bei flachen ausgeführt sein. Für den Betrieb des elektrischen Lichtbogens sind flache Kurven günstiger, dagegen für den der Motoren Kurven, die Sinuskurven möglichst nahe kommen.

Die Klemmenspannung der Wechselstromdynamo ergibt sich als die Differenz zwischen der E.M.K. und dem Spannungsverlust im Anker. Letzterer setzt sich nach der Gleichung (55) aus zwei Komponenten zusammen: 1. dem Spannungsabfall infolge des Ohmschen Widerstandes. Dieser ist mit dem Strome  $i$  im Anker in gleicher Phase, 2. dem Spannungsabfall infolge der Selbstinduktion in der Ankerwicklung. Ist  $L$

Fig. 249.

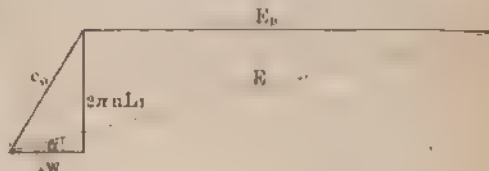
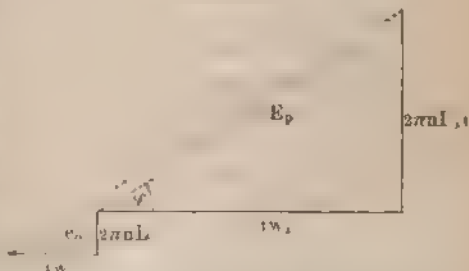


Fig. 250.



der Selbstinduktionskoeffizient des Ankers und  $n$  die Periodenzahl der Frequenz des Wechselstromes, so ist der induktive Abfall der Spannung im Anker  $= 2\pi n L i$ . In Fig. 249 stellt  $e_0$  den gesamten Spannungsabfall im Anker dar. Besteht der äußere Widerstand aus parallel geschalteten Glühlampen, so ist praktisch die Polklemmenspannung  $E_p$  in gleicher Phase mit dem Strom  $i$ , und die Nutzleistung der Dynamo ist  $A_n = E_p \cdot i$ . In Fig. 249 stellt dann  $E$  die E.M.K. der Dynamo dar. Die Phasennachstellung des Stromes gegen die E.M.K. in diesem Falle durch den Winkel  $\alpha$  gegeben.

Enthält dagegen der äußere Stromkreis Widerstände mit Selbstinduktion, so hat der Strom eine Phasendifferenz (Verzögerung) gegen die Polklemmenspannung.

Ist  $w_a$  der äußere Widerstand in Ohm und  $L_a$  der Selbstinduktionskoeffizient des äußeren Stromkreises, so haben wir für die F.M.H. das Diagramm Fig. 250.

Dabei ist  $\varphi$  die Phasendifferenz zwischen der Polklemmenspannung und der Stromstärke  $i$ . In diesem Falle ist die Nutzleistung der Dynamo  $E_p \cdot i \cdot \cos \varphi$ , während ihre scheinbare Leistung  $E_p \cdot i$  ist.  $\cos \varphi$  ist der sogenannte Leistungsfaktor.

In der Wechselstromdynamo treten ähnliche Verluste auf wie in der Gleichstromdynamo, wir haben

1. den Energieverlust in der Ankerwicklung,
2. den Energieverlust in den Magnetpulven,
3. die Verluste durch Hysteresis und Wirbelströme,
4. die Verluste durch Reibung in den Lagern, durch Bürstenreibung und Luftwiderstand.

Für den totalen Wirkungsgrad der Wechselstromdynamos gelten ähnliche Werte wie für die Gleichstromdynamos (siehe S. 96).

Bezüglich der Periodenzahl (Frequenz) sei bemerkt, daß in Deutschland die am meisten gebräuchliche Frequenz 50 pro Sekunde, d. h. 6000 Polwechsel pro Minute, ist.

**§ 68. Erregung der Wechselstromdynamos.** Bei der Dynamos der Wechsellpoltype kann entweder jeder Pol seine eigene Erregerspule tragen (Fig. 236), oder die Pole tragen abwechselnd Erregerspulen. Auch kann für sämtliche Pole eine gemeinsame Erregerspule vorhanden sein (Fig. 247). Bei den meisten Wechselstromdynamos der Gleichpoltype ist für sämtliche Pole nur eine Erregerspule vorgesehen.

In Bezug auf die Erregung kann man ferner unterscheiden:

1. Wechselstromdynamos mit permanenten Magneten, die sich nur für sehr geringe Leistungen eignen.

2. Wechselstromdynamos mit Elektromagneten, die zwar mit Sondererregung, bei denen der durch die Magnetpulven fließende Gleichstrom von einer besonderen Dynamo oder von einem Akkumulator entnommen wird. Bei großen Wechselstromdynamos bringt man häufig auf die Ankerwelle noch einen kleinen Gleichstromanker, der sich in einem besonderen Magnetfeld dreht und den Erregerstrom liefert. Die Erregerdynamo hat Nebenschlußwicklung. Im äußeren Stromkreise derselben liegen die Magnetpulven und ein regulierbarer Widerstand in Reihenschaltung. Durch letzteren, wie auch durch Änderung der Polklemmenspannung mittels des Nebenschlußregulators kann die Stärke des Erregungsstroms gewählt und damit nach der Gleichung (66)  $\Phi$  und  $E$  verändert werden. Diese Erregung durch Fremdstrom ist bei den Wechselstromdynamos die gebräuchlichste.

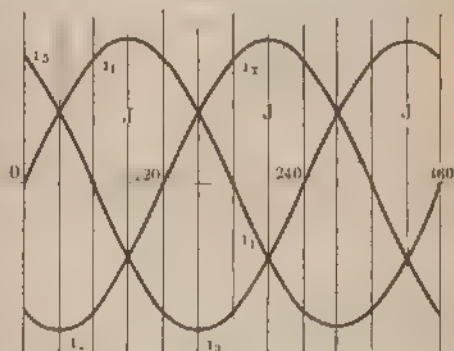


3. Wechselstromdynamos mit Elektromagneten und mit Selbst-erregung. Hierbei wird ein kleiner Teil des vom Anker der Wechselstromdynamo gelieferten Stromes abgezweigt und durch einen Kommutator in Gleichstrom verwandelt, der nun durch die Magnetspulen fließt. Der Kommutator befindet sich auf der Welle der Wechselstromdynamo. Diese Methode der Erregung ist wegen der Empfindlichkeit des Kommutators wenig empfehlenswert.

### § 69. Mehrphasenwickelungen und Mehrphasendynamo.

Man unterscheidet zwischen Einphasen- und Mehrphasendynamos. Die ersteren, deren Wickelungen im vorigen Paragraphen besprochen sind, liefern nur einen Wechselstrom, während die letzteren zwei, drei oder mehrere Wechselströme gleicher Frequenz und im allgemeinen auch gleicher Stärke liefern, die aber in der Phase gegeneinander verschoben sind. In den Mehrphasenmaschinen, von denen uns besonders die Dreiphasenmaschinen interessieren, sind die Wickelungssysteme gegeneinander versetzt, wie dies im Anschluß an Fig. 236 bereits in § 66 hervorgehoben ist.

Fig. 251.



Die Zweiphasendynamo liefert zwei in der Phase um eine halbe Periode oder um  $90^\circ$  gegeneinander verschobene Wechselströme gleicher Frequenz (siehe Fig. 222).

Die Dreiphasendynamo liefert drei gleiche Wechselströme derselben Periodenzahl, welche eine Phasendifferenz von  $120^\circ$  gegeneinander haben (Fig. 251). Ist  $J$  die maximale Stärke jedes dieser drei Wechselströme, so werden dieselben dargestellt durch

$$\begin{cases} i_1 = J \sin \alpha, \\ i_2 = J \sin (\alpha - 120^\circ), \\ i_3 = J \sin (\alpha - 240^\circ). \end{cases}$$

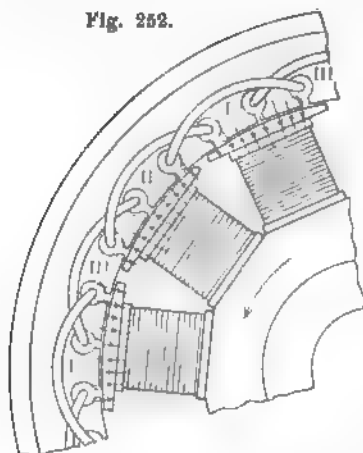
Dabei sind  $i_1$ ,  $i_2$  und  $i_3$  die augenblicklichen Stromstärken für einen bestimmten Wert von  $\alpha$  oder für eine bestimmte diesem Werte entsprechende Stellung des Ankers.

Fig. 252 (a. f. S.) stellt die Anordnung der Spulen des Ankers einer Dreiphasendynamo dar. Die den drei Phasen angehörenden Spulen sind mit I, II und III bezeichnet. Der Anker mit der Wickelung ist fest, während im Innern desselben ein mehrpoliger Magnet ro-



tiert, dessen Pole abwechselnd Nord- und Südpole sind. Jeder der Pole trägt seine Erregerspule. Haben während der Umdrehung die

Fig. 252.



Pole solche Lage, daß z. B. der Kraftlinienfluß in den Spulen I am größten ist, so ist er kleiner, aber gleich in den beiden anderen Spulengruppen. Bei der in der Figur angenommenen Drehungsrichtung nimmt der Kraftfluß dann bei weiterer Drehung des Magneten in der Spule II zu, während er in III abnimmt.

Nach den früheren Bemerkungen (vergl. § 66) entstehen in den drei Spulengruppen elektromotorische Kräfte, deren Phasendifferenz gegeneinander  $120^\circ$  beträgt, so daß sie dargestellt werden durch

$$(68) \quad \begin{cases} e_1 = E \cdot \sin \alpha, \\ e_2 = E \cdot \sin (\alpha - 120), \\ e_3 = E \cdot \sin (\alpha - 240), \end{cases}$$

wobei  $E$  das Maximum der in jeder Spulengruppe (Phase) induzierten E.M.K. ist. Früher ist schon darauf hingewiesen, daß der zeitliche Verlauf der E.M.K. mehr oder weniger erheblich von der Form der Sinuskurve abweicht, wir wollen jedoch für die nachfolgenden Betrachtungen stets einen sinusartigen Verlauf der E.M.K. voraussetzen. Der zeitliche Verlauf der elektromotorischen Kräfte ist auch in Fig. 251 dargestellt. Für jeden Zeitpunkt ist die Summe der Ordinaten der drei Kurven, d. h. die Summe der augenblicklichen elektromotorischen Kräfte gleich Null, d. h.

$$(69) \quad e_1 + e_2 + e_3 = 0.$$

Dies ergibt sich übrigens auch aus den Gleichungen (68). Die Ströme der drei Spulengruppen ändern sich im allgemeinen wie die elektromotorischen Kräfte, so daß in jedem Zeitpunkte auch

$$(70) \quad i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

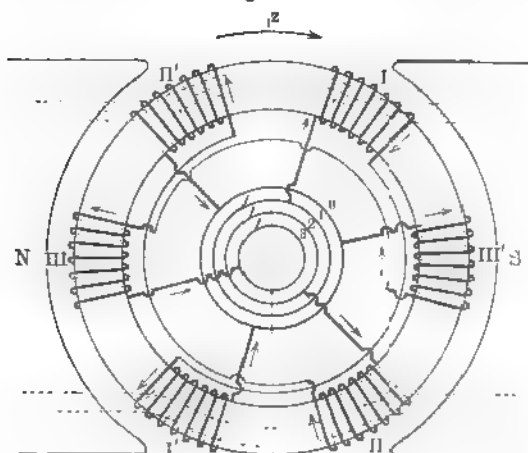
ist.

Fig. 253 stellt die Anordnung der Spulen auf dem Ringanker einer Dreiphasendynamo mit zweipoligem Felde dar. Die Spulen I, II und III sind um  $120^\circ$  gegeneinander versetzt; ebenso die Spulen I', II' und III'. Die erste Phase enthält die Spulen I I' in Serienschaltung und liegt mit dem Anfange von I am Schleifring 1, mit dem Ende von I' am Schleifringe 0. Mit letzterem sind auch die Enden von II' und III' verbunden. Wir haben damit die in Fig. 254 schematisch dar-

**Sternschaltung.** Die Schleifringe in Fig. 253 liegen in einer Ebene nebeneinander auf der Ankerwelle.

$e_1$  und  $e_2$  seien die augenblicklichen Phasenspannungen, d. h. die augenblicklichen Werte der Spannungsdifferenzen zwischen I und

Fig. 253.



den Punkten 1, 2 und 3 in Fig. 254 entsprechen die Schleifringe bzw. die Bürsten 1, 2 und 3 in Fig. 253.

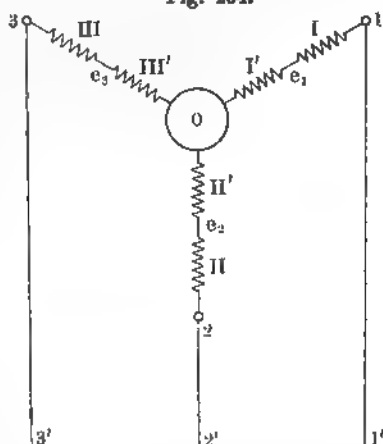
Die Bürsten 1, 2 und 3 sind mit den Leitungen 1—1', 2—2' und 3—3' ausgezogen. Wir betrachten zunächst die Spannungsunterschiede zwischen diesen Leitungen, d. h. die sogenannten Phasenspannungen. Ist  $l_0$  die Spannung der drei Spulengruppen, so ist die effektive Spannung  $E_0$

$$E_0 = l_0 \cdot \sqrt{3}.$$

Die augenblicklichen Werte der elektromotorischen Kräfte in den drei Phasen ergeben sich als die Projektionen der Endpunkte dreier Vektoren, welche zu je zweien unter

einander einen Winkel  $120^\circ$  einschließen und deren Länge dem Maximumwert der induzierten E.M.K. entspricht (Fig. 255). In Fig. 253 sind die Richtungen in den Spulen induzierten elektromotorischen Kräfte durch Pfeile angedeutet. Wirkt die E.M.K. einer Spule bzw. von den Schleifringen in der Richtung nach dem Ring 0, so soll sie als positiv be-

Fig. 254.



trachtet werden. Für die in Fig. 253 dargestellte Stellung des Ankers sind also die augenblicklichen Spannungsdifferenzen in den Spulen I I', und II II' durch positive Ordinaten darzustellen; dagegen die Spannungsdifferenz zwischen 0 und 3 durch eine negative Ordinate. Für dieselbe Stellung des Ankers hat die E.M.K. in den Spulen III III' ihren Höchstbetrag  $= E$ . Da die Spulen in Bezug auf die neutrale Achse symmetrisch liegen, so sind die elektromotorischen Kräfte in den Spulenpaaren I I' und II II' für die Stellung des Ankers in Fig. 253 einander gleich.

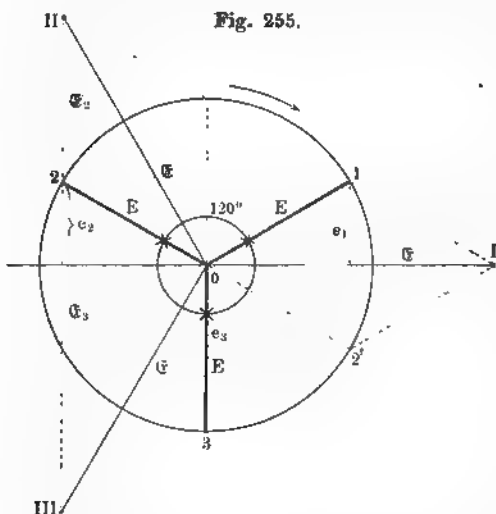
Da in den beiden Spulenpaaren I I' und II II' (Fig. 253) die elektromotorischen Kräfte für die der Figur entsprechende Stellung des Ankers von 1 und 2 nach 0 gerichtet sind, so ist die Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen 1 1' und 2 2' in dem betrachteten Augenblicke gleich Null; konstruiert man geometrisch die Differenz der Strecken 0 1 und 0 2, d. h. zieht man 0 2' und die Resultierende von 0 1 und 0 2', so ergibt sich die Strecke 0 I, welche das Maximum der Spannungsdifferenz zwischen der Leitung 1 1' und 2 2' darstellt, d. h. das Maximum der Hauptspannung  $\mathcal{E}$ . Die geometrische Betrachtung ergibt leicht, daß

$$\mathcal{E} = E \sqrt{3}$$

ist. Dieselbe Beziehung gilt auch für die effektiven Werte dieser Spannungsdifferenzen.

Da für die betrachtete Stellung diese Resultierende mit der horizontalen Achse zusammenfällt, so ist auch für denselben Augenblick die Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen 1—1' und 2—2' gleich Null.

In derselben Weise stellt die Strecke 0 II das Maximum der Hauptspannung zwischen den Leitungen 2—2' und 3—3' dar. Durchläuft man (Fig. 253) vom Schleifringe 1 aus die Spulen II und II' und dann über 0 auch die Spulen III und III', so wirken auf dem ganzen Wege die elektromotorischen Kräfte in derselben Richtung. Dementsprechend ist die augenblickliche Spannungsdifferenz zwischen 2—2' und 3—3' für die Stellung des Ankers, Fig. 253, durch



das von II (Fig. 255) auf die horizontale Achse gefällte Lot dargestellt.

Die von den Endpunkten I, II und III der drei Radien  $\mathcal{E}$  gefällten Lote stellen also die augenblicklichen Werte der Spannungsdifferenzen zwischen den Leitungen 1—1', 2—2' und 3—3', d. h. der Hauptspannungen dar. Rotieren die Radien 0 I, 0 II und 0 III, so rotieren mit derselben Winkelgeschwindigkeit die Radien  $\mathcal{E}$ .

Die Hauptspannungen 0 I, 0 II und 0 III eilen den Phasenspannungen 0 1, 0 2, 0 3 bzw. in der Phase um  $30^\circ$  voraus.

Die Augenblickswerte der drei Hauptspannungen lassen sich ebenfalls darstellen durch

$$\begin{cases} \mathcal{E}_1 = \mathcal{E} \sin(\alpha + 30), \\ \mathcal{E}_2 = \mathcal{E} \sin(\alpha + 30 - 120), \\ \mathcal{E}_3 = \mathcal{E} \sin(\alpha + 30 - 240). \end{cases}$$

Auch hier ergibt sich, daß

$$\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 = 0$$

**Dreieckschaltung.** Fig. 256 stellt einen Grammeschen Ring<sup>1)</sup> mit einem zweipoligen Feld<sup>2)</sup> dar. Von den drei um  $120^\circ$  am inneren Umfange des Ringes voneinander entfernt liegenden Punkten der Wicklung sind Ver-

Fig. 256.

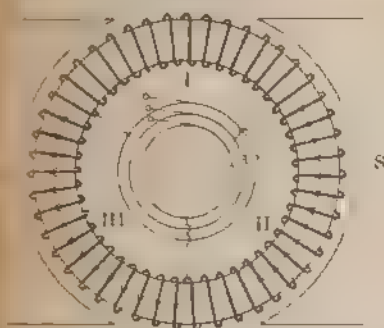
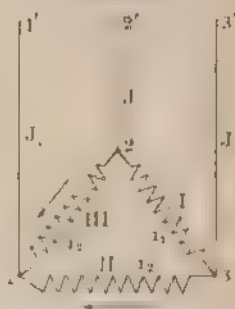


Fig. 257.



bindungen nach den drei Schleifringen 1—2—3 gelegt, auf denen Bürsten zur Aufnahme der Wechselströme schiefen. Die drei Ringe sitzen isoliert nebeneinander auf der Welle. Die Ankersegmente seien mit I, II und III bezeichnet. In denselben werden elektromotorische Kräfte wechselnder Richtung und Größe hervorgebracht. Fällt die Mitte eines Ankersegmentes mit der neutralen Zone zusammen (wie bei I in Fig. 256), so ist die ganze in diesem Segment induzierte E.M.K. gleich Null; fällt dagegen die Mitte des Segmentes vor die Polmitte, so ist die induzierte E.M.K. am größten.

Die Schaltung der drei Spulen auf dem Ringanker ist schematisch in Fig. 257 (Dreieckschaltung) dargestellt.

Die an die Spulen gesetzten Pfeile entsprechen den Richtungen der induzierten elektromotorischen Kräfte für die Ankerstellung Fig. 256.

Die Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen 3—3' und 1—1' ist gleich der in der Spule II induzierten E.M.K. vermindert um den Spannungsverlust in der Spule. Bei der Dreieckschaltung ist also die Hauptspannung gleich der Phasenspannung.

Dagegen ergeben sich die Ströme  $J$  in den Hauptleitungen als die Resultanten der Ströme zweier Spulengruppen (Phasen). Ist die effektive Stärke des Stromes jeder Spulengruppe  $J_0$ , so ist die effektive Stromstärke  $J_0$  in jeder der drei Hauptleitungen

$$J_0 = J_0 \sqrt{3}$$

**§ 70. Dreiphasenstrom- oder Drehstromdynamos.** Die Dreiphasenstromdynamos werden mehrpolig ausgeführt. Fig. 258 stellt

<sup>1)</sup> Auf diesem Ringe kann neben den Dreiphasenströmen auch Gleichstrom gewonnen werden (Doppelmaschine, s. § 124).

die Wicklung einer vierpoligen Drehstromdynamo dar. Der mit den Spulen steht fest. Im Innern des Ankers, an dessen Seite die Spulen in fest geschlossenen Nuten eingelegt sind, rotiert vierpolige Magnet. Jeder der vier Schenkel trägt seine Erreger

Fig. 258.

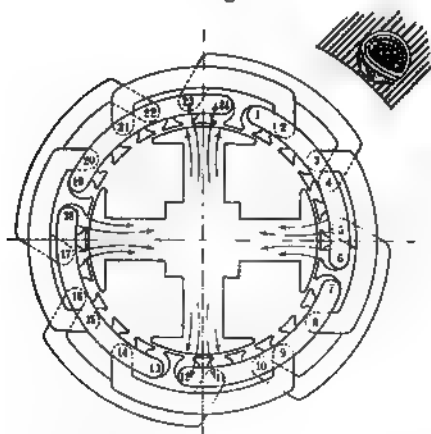
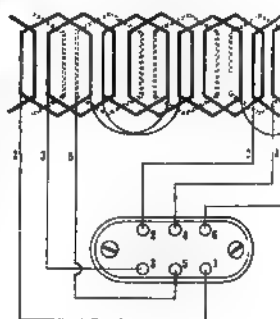
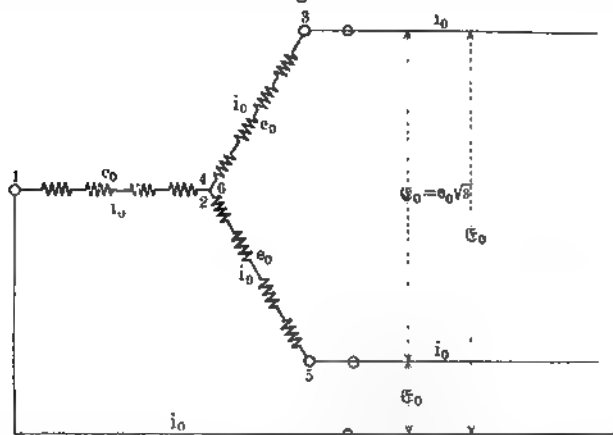


Fig. 259.



Die Pfeile an den Polen geben die Richtungen der Kraftlinien an. Strom wird zu den Erregerspulen, die in der Fig. 258 nicht dargestellt sind, zu- und abgeleitet durch zwei auf der Welle voneinander unabhängige Schleifringe. Die Ankerspulen greifen übereinander weg. In Fi

Fig. 260.



ist die Innenseite des Ankers abgewickelt gezeichnet. Die eine ist durch dicke Striche, die zweite durch feine Striche, die dritte punktierte Linien angedeutet. Die Polbreite ist so gewählt, daß Fig. 258 der Pol gleichzeitig vier nebeneinander liegende Nuten über

Die sechs Enden der drei Spulengruppen (Phasen) sind an die Klemmen 1 bis 6 (Fig. 259) gelegt.

Verbindet man die Klemmen 2, 4, 6 miteinander durch einen Erdrahtbügel, und zweigt man die drei Hauptleitungen ab von Klemmen 3, 5 und 1, so sind drei Phasen des Ankers in Dreieckschaltung verbunden. Bei richtigem Verlaufe ist nach der Beziehung (70) die Summe der an Klemmen 2—4—6 zusammenfließenden Ströme für jeden Augenblick gleich Null.

Ist ferner  $e_0$  Volt die in jeder Spulengruppe bzw. Phase induzierte effektive E. M. K., so ist, abgesehen von dem geringen Spannungsverlust in den Ankerspulen, die effektive Spannungsdifferenz  $\mathcal{E}_0$  zwischen zwei der Polklemmen 3, 5 und 1 (Fig. 260), sowie zwischen je zwei von diesen ausgehenden Leitungen  $\mathcal{E}_0 = e_0 \cdot \sqrt{3}$  Volt. Die Ströme in den Leitungen haben dabei dieselbe Stärke wie die in den Spulengruppen bzw. Phasen. Sind alle drei Phasen gleich belastet, und ist  $i_0$  die effektive Stromstärke in jeder, so ist die Nutzleistung der Ankerdynamo

$$A_n = 3 e_0 i_0 = \sqrt{3} \cdot \mathcal{E}_0 \cdot i_0 \text{ Watt,}$$

in der äußere Stromkreis der Dynamo nur aus induktionsfreien Elementen, wie Glühlampen u. s. w., gebildet wird.

Werden dagegen die Klemmen 1 und 6, 4 und 5, 2 und 3 paarweise kurz geschlossen und von jedem Klemmenpaare aus eine Haupt-

Fig. 261.

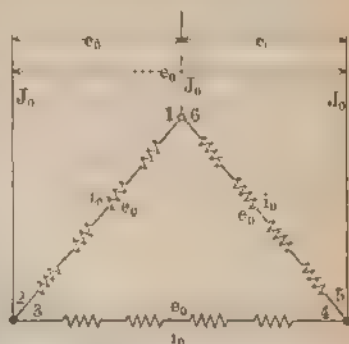
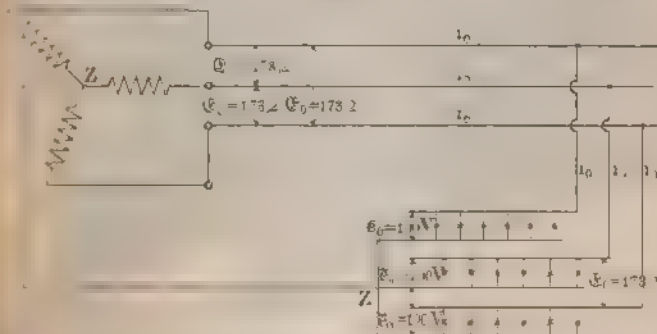


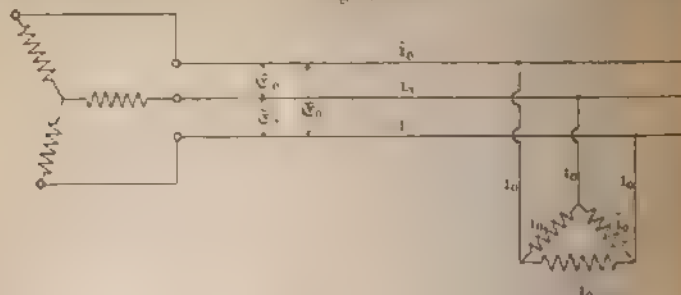
Fig. 262.



Leitung gezogen, so sind die Spulengruppen (Phasen) des Ankers in Sternschaltung verkettet. Ist dann wiederum  $e_0$  Volt die in

jeder der drei Spulengruppen bzw. Phasen induzierte effektive E.M.F. so zeigt ein Spannungsmesser zwischen je zwei der Klemmen bzw. zwischen den von ihnen ausgehenden Leitungen, abgelesen

Fig. 283.



den Spannungsverluste in den Spulen, ebenfalls die effektive Spannung  $e_1$  an (Fig. 261). Ist  $i_0$  Amp. die effektive Stromstärke in jeder der

Fig. 284



drei Spulengruppen, so ist die effektive Stromstärke in den Leitungen  $J_0 = i_0 \cdot \sqrt{3}$  Amp. Liefert die Dynamo Ströme in induktions-



nderstände, und sind alle drei Phasen gleich belastet, so ist die Leistung der Dynamo

$$P_n = 3 e_0 i_0 = \sqrt{3} \cdot e_0 \cdot J_0 \text{ Watt.}$$

Beispiel. Eine Abzweigung enthält 18 Glühlampen (16 N.K. 100 Volt 0,55 Amp.) in Sternschaltung (siehe Fig. 262).

Die effektive Phasenspannung in der Lampenschaltung ist dann

$$\bar{e}_0 = \frac{E_0}{\sqrt{3}} = 100 \text{ Volt,}$$

dem die effektive Hauptspannung  $E_0$  gleich 173,2 Volt ist. Jede der drei Lampengruppen verbraucht den Strom  $i_0 = 6 \cdot 0,55 = 3,3$  Amp., also die Energie 330 Watt. Der Gesamtverbrauch in der Abzweigung ist  $3 \cdot 330 = 990$  Watt. Dasselbe ergibt sich nach der Gleichung (74). Die Leistung

Fig. 265.



[siehe Schaltungschema (§ 134) des Reichspostdampfers „Königin Louise“ Norddeutschen Lloyd hat den Zweck, bei ungleichmäßiger Belastung der Phasen zum Stromausgleich zu dienen.

Schaltet man an Stelle der drei Glühlampengruppen drei gleiche Widerstände mit Selbstinduktion ein, wie Bogenlampen oder die Ständerwickelungen

eines Drehstrommotors, so ist zwischen der Spannungsdifferenz  $\bar{e}_0$  und den Strömen  $i_0$  die Phasendifferenz  $\varphi$  vorhanden. In diesem Falle ist der Energieverbrauch in der Abzweigung

$$(76) \quad A_n = 3 \bar{e}_0 \cdot i_0 \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot \bar{e}_0 \cdot i_0 \cdot \cos \varphi \text{ Watt.}$$

In der Fig. 263 sind drei gleiche Widerstände mit Selbstinduktion (die drei Spulengruppen (Phasen) eines Drehstrommotors) in Dreieckschaltung von der Hauptleitung abzweigt. Durch jede der drei Phasen des Motors fließe der Strom  $i_0$ , der in der Phase der Spannung  $\bar{e}_0$  um  $\varphi$  verschiebt. Dann ist der Energieverbrauch des Motors

$$A_n = 3 \bar{e}_0 \cdot i_0 \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \bar{e}_0 i_0 \cos \varphi \text{ Watt.}$$

Fig. 264 stellt eine Drehstromdynamo der Union Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, für Riemenantrieb und mit direkt gekuppelter Erregermaschine

Fig. 266.



dar. Fig. 265 ist ein mit der Betriebsmaschine direkt gekuppelter Drehstrom-Generator, Type ATN, derselben Firma.

Außer der in Fig. 260 dargestellten Wicklung der Drehstromdynamo gibt es noch zahlreiche andere. Auf die sehr verschiedenen Formen der Wicklung, von denen sich mehrere leicht aus den Wicklungen der Drehstrommaschinen (§ 66) ergeben, wollen wir hier nicht näher eingehen. Die in Fig. 264 und 265 dargestellten Drehstromdynamos sind solche Wechselpoltype mit einer Wicklung, die der in Fig. 259 dargestellten ähnelt.

In Fig. 266 ist die Drehstromdynamo Type DM mit Trommelwicklung der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, dargestellt.

## Drehstrommotoren.

§ 71. Wirkung eines magnetischen Drehfeldes auf ein kurzgeschlossenen Anker. Ein permanenter Hufeisenmagnet

der Achse eines Rotationsapparates so befestigt, daß die beiden Schenkel vertikal stehen und die Drehungsachse in der Mitte zwischen den Schenkeln liegt. Zwischen den beiden Schenkeln ist ein sogenannter Kurzschlussanker (Fig. 267) drehbar aufgehängt, der das Aussehen eines Trommelankers mit gleichmäßig auf der Mantelfläche vertheilten isolierten Leitern hat, die an beiden Endflächen durch Kupferringe miteinander durch Vernieten oder Löten verbunden, also kurz-

Fig. 267.

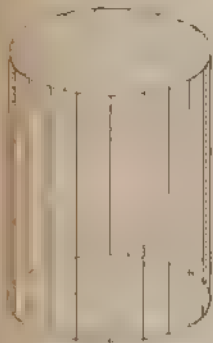
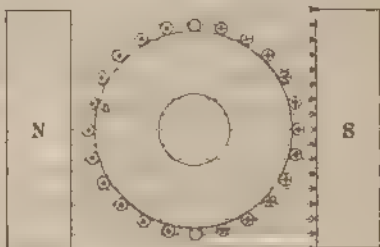


Fig. 268.



geschlossen sind. Der Kern des Ankers soll, wie beim Trommelanker, aus dünnen Eisenblechscheiben zusammengesetzt sein. Statt dieses Trommelankers kann auch ein Ringanker verwendet werden, bei dem die Ankerpule in sich kurz geschlossen ist. Man könnte für die Versuche auch den in Fig. 100 dargestellten Ringanker verwenden, wenn durch einen über die Kollektorlamellen gelegten Kupferring sämtliche Windungen kurz geschlossen würden.

Sobald mit dem Rotationsapparat der Magnet in Drehung versetzt wird, beginnt der Kurzschlussanker in derselben Richtung zu drehen (vergl. § 31). Mit den rotierenden Polen dreht sich auch das Magnetfeld zwischen denselben; der Kurzschlussanker befindet sich in einem magnetischen Drehfelde. In Fig. 268 sind N und S die Pole des Magneten, zwischen denen ein gleichförmiges Feld liegt, wenn wir uns für den Versuch die Kurzschlusswicklung auf einem Cylinder aus einem unmagnetischen Material herstellen. Die Pole sollen in der Richtung der Bewegung des Uhrzeigers rotieren. Steht der Anker zunächst still, so werden die Leiter auf der Oberfläche des Ankers von Kraftlinien durchschnitten, und in ihnen werden nach der Regel I, S. 55 elektromotorische Kräfte hervorgerufen und Ströme induziert, deren Richtungen in der früher (S. 36) angegebenen Weise bezeichnet sind. Bei der Ermittlung der Stromrichtung ist zu beachten, daß sich die Ankerdrähte in Bezug auf das Magnetfeld, entgegen der Drehung des Uhrzeigers bewegen. Bestimmt man dann nach der Rechten-Hand-Regel die Richtung der Kraft, welche vom Magnetfelde z. B. auf den

Stromleiter  $a$  ausgeübt wird (vergl. § 19), so ergibt sich, daß dieselbe am Umfange des Ankers wirkt und dem Anker ein Drehungsmoment in der Richtung der Bewegung des Uhrseigers erteilt. Dasselbe gilt für die übrigen Ankerleiter. Der Anker beginnt also in der gleichen Richtung zu rotieren, wie die Magnetpole.

Die Wirkungsweise des betrachteten Apparates läßt sich noch dadurch verbessern, daß die Polflächen cylindrisch ausgebohrt werden, und damit der Luftzwischenraum zwischen Anker und Polfläche erheblich reduziert wird. Da nach dem Gesetze der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung die Pole auf die Ankerleiter mit derselben Kraft wirken, wie diese auf jene, so wird das auf die Magnetwelle ausgeübte Drehmoment fast vollständig auf die Ankerwelle übertragen, denn auch die Hebelarme, an denen beide Zugkräfte angreifen, sind nahezu einander gleich, wenn der Luftzwischenraum genügend schmal gewählt wird.

Sobald der Anker in Bewegung gesetzt ist, wird seine Geschwindigkeit bis zu einem bestimmten Betrage zunehmen, der von der Reibung der Ankerwelle und von den der Bewegung derselben entgegenstehenden Widerständen abhängt. Dabei muß aber die Umdrehungsgeschwindigkeit des Ankers kleiner als die des Feldes bleiben. Würde der Anker dieselbe Zahl Umdrehungen (synchrone Umdrehungszahl) in der Zeiteinheit machen wie die Pole, so würden die Ankerleiter nicht mehr von den Kraftlinien geschnitten, und die Ursache zur Entstehung der induzierten Ströme in den Ankerleitern wäre damit beseitigt. Diese Ströme sind aber gerade die Ursache der vom Felde auf den Anker ausgeübten Zugkraft. Der Fall gleicher Umdrehungszahl könnte nur bei vollständigem und idealem Leerlauf des Ankers eintreten, wobei alle passiven Widerstände beseitigt wären.

Ist  $\omega_1$  die Winkelgeschwindigkeit der beiden Magnetpole,  $\omega_2$  die des Ankers, so muß also  $\omega_1 > \omega_2$  sein. Ist  $D$  das auf die Magnetpole ausgeübte Drehungsmoment, so ist die zur Bewegung derselben aufgewendete Energie

$$A_1 = D \cdot \omega_1.$$

Da nach den früheren Bemerkungen auch auf den Anker das Drehungsmoment  $D$  ausgeübt wird, so ist die Leistung des rotierenden Ankers

$$A_2 = D \cdot \omega_2.$$

Die Differenz  $A_1 - A_2 = D (\omega_1 - \omega_2)$  stellt einen Verlust dar, der durch die Unterhaltung der Ströme in der Wicklung des Ankers entsteht. Die Energie  $W = A_1 - A_2$  wird in Wärme in den kurzgeschlossenen Drähten des Ankers verwandelt. Wir haben

$$A_1 = W + A_2.$$

$A_1$  ist die ganze auf den Anker übertragene Energie, von der der Teil  $W$  in der Ankerwicklung verloren geht, während der übrige Teil  $A_2$  als mechanische Leistung weitergegeben werden kann.  $A_2$  ist auch die zur Überwindung der Lagerreibung u. s. w. erforderliche Arbeitsleistung enthalten. Wir haben ferner

$$W = D(\omega_1 - \omega_2).$$

$\omega_1 - \omega_2$  wird als die Schlupfung und  $\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}$  als das Schlupfungsverhältnis bezeichnet.

Nach der Gleichung (78) ist der Verlust in der Ankerwicklung Schlupfung proportional. Ferner ist

$$\frac{W}{A_1} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \varepsilon.$$

h. das Verhältnis des Verlustes im Anker zu der gesamten auf den Anker übertragenen Energie ist gleich dem Schlupfungsverhältnis  $\varepsilon$ .

An Stelle des zweipoligen Magneten (Fig. 268) könnten wir auch einen oder mehrpoligen Magneten (Fig. 147) rotieren lassen, so würde ein zylindrischer Raum zwischen den Polschuhen gebrachter Kurzschlussanker ebenfalls in Drehung versetzt.

In den einzelnen Leitern auf der Oberfläche des Kurzschlussankers oder in den kurz geschlossenen Spulen des vorhin erwähnten Ankers entstehen Wechselströme. Die Ströme würden ebenso wie bei den oben betrachteten Verhältnissen entstehen, wenn der Anker in Ruhe stände, die Pole aber mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_1 - \omega_2$  ertreten würden und zwar in derselben Richtung, wie bei den oben beschriebenen Versuchen, d. h. in der Richtung der Bewegung des Erzeugers. Auch würden dieselben Ströme entstehen, wenn die Pole in Ruhe ständen, der Anker aber mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_1 - \omega_2$  gegen der Richtung der Uhrzeigerbewegung gedreht würde. Aus Figuren 99 u. s. f. ergibt sich sogleich, daß in jedem Leiter auf der Ankeroberfläche Wechselströme entstehen; dabei ist die Zahl der Umdrehungen während einer Umdrehung gleich der Zahl der Pole. Ist  $w$  der Widerstand jedes der Leiter des Kurzschlussankers oder der Widerstand jeder der kurz geschlossenen Spulen des Ringankers, so ist die durch die Bewegung im mehrpoligen Drehfeld induzierte effektive Stromstärke  $i_0$  1. proportional dem Kraftlinienfluß  $N$ , der von jedem Nordpol in den Anker übertritt, 2. proportional der Schlupfung  $\omega_1 - \omega_2$ , 3. proportional der Zahl  $p$  der Polpaare, 4. umgekehrt proportional dem Widerstande  $w$ . Bezeichnet also  $k$  eine Konstante so ist

$$i_0 = \frac{k \cdot N \cdot p \cdot (\omega_1 - \omega_2)}{w}.$$

Die Theorie ergibt ferner, daß das Drehungsmoment  $D$  durch die Gleichung

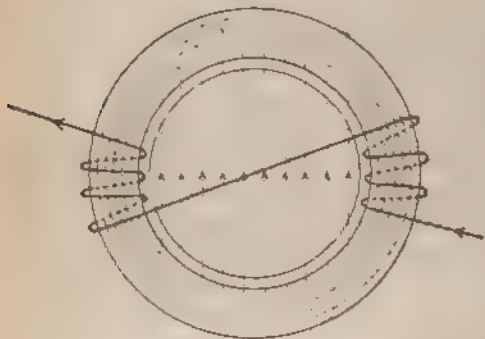
$$(81) \quad D = k \cdot N \cdot Z \cdot i_0 \cdot p$$

gegeben ist, wobei  $Z$  die Zahl der wirksamen Leiter auf der Oberfläche des Kurzschlussankers ist.

Nach der Gleichung (81) ist das Drehmoment bei gegebenem Kraftlinienflusse  $N$  der im Anker induzierten effektiven Stromstärke  $i_0$  proportional, da diese aber nach der Gleichung (80) wiederum der Schlüpfung proportional ist, so muß auch das Drehungsmoment der Schlüpfung proportional sein. Wird der Anker stärker belastet, so muß zur Steigerung des Drehungsmomentes die Schlüpfung zunehmen, damit es in den Ankerleitern induzierte E.M.K. und Stromstärke anwächst.

§ 72. Das Wechselfeld. Das im vorigen Paragraphen betrachtete Drehfeld wird in der Praxis durch die Kombination mehrerer fest stehender Magnetfelder hervorgebracht. Letztere haben jedoch nicht eine konstante Stärke, sondern werden von Wechselströmen hervorgerufen und ändern wie diese periodisch ihre Richtung und

Fig. 269.



Stärke. Felder dieser Art werden kurzweg als Wechselfelder bezeichnet.

Fig. 269 stellt einen Ring dar, auf welchem zwei in Reihe geschaltete Spulen an zwei gegenüberliegenden Stellen gewickelt sind. Der Ring entspricht dem Ständer oder Gehäuse des Drehstrommotors. Im Innern des Ringes liegt der

Läufer oder Anker als Kurzschlussanker. Der Einfachheit wegen ist zunächst die Ankerwicklung fortgelassen. Fließt durch die Spulen des Ringes ein Strom, so entsteht im Innern des Ringes ein homogenes Magnetfeld, dessen Kraftlinien den Läufer durchsetzen und sich durch die beiden Ringhälften schließen. Wenn wir annehmen, daß längs der ganzen Peripherie des Läufers überall gleiche magnetische Kräfte senkrechter Richtung wirken, d. h. die Dichte der Kraftlinien an allen Stellen der Peripherie des Läufers dieselbe ist, so können wir in einfacher Weise die magnetischen Kräfte darstellen, welche auf die verschiedenen Leiter am Umfange des Ankers wirken. Die von unten nach oben wirkende Feldstärke im Luftzwischenraum sei  $B$ . Wir ermitteln in Fig. 270 die Komponenten  $B_p$  derselben, die radial am Ankerumfeld wirken, und finden dieselbe

(2)  $B_{\varphi} = B \cdot \sin \varphi.$

Diese Komponente allein ist für die Berechnung des auf den Anker ausgeübten Drehungsmomentes zu berücksichtigen (vergl. § 19). Für  $\varphi = 0$  und  $\varphi = 180$ , also für die Punkte des Ankerumfanges, welche der Mitte der Spulen gegenüberliegen, ist  $B_{\varphi} = 0$ . Dagegen ist für  $\varphi = 90$  und  $\varphi = 270$  die in der Richtung des Radius des Ankers liegende Feldstärke bzw.  $B$  und  $-B$ .

Fig. 270.

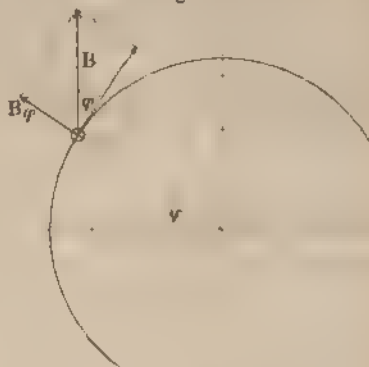
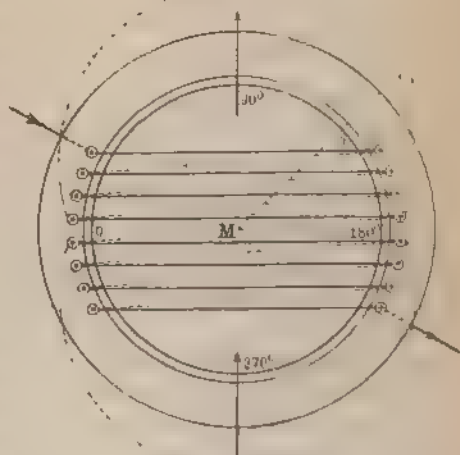


Fig 271



Weit häufiger als die in Fig. 269 dargestellte Ringwicklung des Ständers ist die in Fig. 271 gezeichnete Trommelwicklung. Am inneren Umfang des Ständers liegen 12 Löchern oder Nuten je 8 Drähte, die auf der vorderen und hinteren Seite miteinander verbunden sind. Die Verbindungen sind durch ausgezogene und punktierte Linien dargestellt. Das von der Spule hervorgebrachte Feld hat daselbe Aussehen wie das in Fig. 269 dargestellte. Auch die Größe der in der Richtung des Radius wirkenden Feldstärke  $B_{\varphi}$  ändert sich in derselben Weise am Umfang des Läufers, wie in Fig. 269. Die punktierten Kurven stellen in ähnlicher Weise wie in Fig. 152 die Größe  $r$  in der Richtung des Läuferumfangs wirkenden Feldstärke dar. Zieht man vom Mittelpunkt  $M$  die Gerade  $Mh_1$  bis zur punktierten Kurve, so gibt das Stück  $hh_1$  zwischen der Läuferoberfläche und Kurve ein Maß für die an der betrachteten Stelle  $h$  der Läuferoberfläche in der Richtung des Radius wirkenden Feldstärke.

Die punktierten Kurven geben zunächst nur für eine bestimmte Feldstärke in der Ständerspule die Änderung von  $B_{\varphi}$  am Umfang

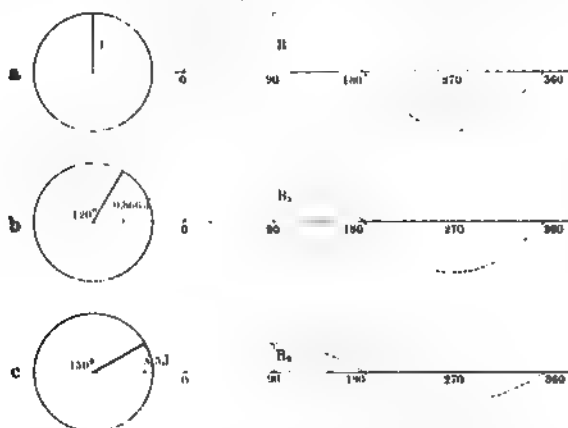


des Läufers. Fließt durch die Ständerspule ein Wechselstrom, so sind außer diesen örtlichen Änderungen von  $B_p$  auch die zeitlichen an jeder Stelle des Lauferumfangs zu berücksichtigen.

Zu dem Zwecke denken wir uns den Luftzwischenraum bei 0, wo die radiale Feldstärke für jede Stärke des Wechselstromes gleich Null ist, aufgeschnitten und in eine Gerade ausgestreckt. Wirkt die Feldstärke vom Läufer aus durch den Luftzwischenraum, so wird sie in den nachfolgenden Figuren durch eine positive Ordinate dargestellt.

Hat der Wechselstrom in der Ständerspule seinen Höchstwert  $J$  (Fig. 272 a), so gibt die punktierte Kurve die Änderung der radialen

Fig. 272 a—c.

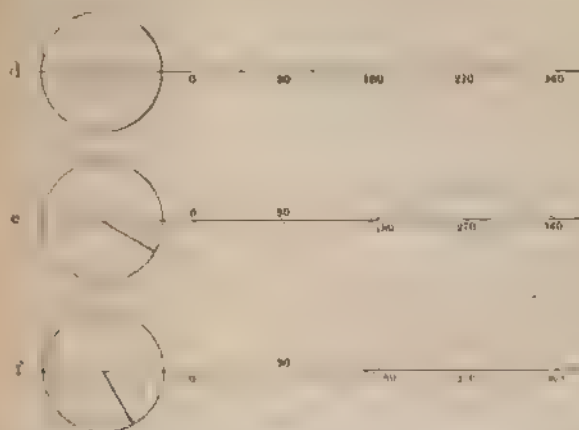


Feldstärke am Lauferumfang an. Die Feldstärke  $B$ , wie auch die radiale Feldstärke  $B_p$ , sind der Stromstärke in der Ständerspule proportional. Für die graphische Darstellung der radialen Feldstärke in der Fig. 272 a haben wir den Maßstab für die Feldstärke so gewählt, daß dieselbe Strecke zugleich das Maximum  $J$  des Wechselstromes und das Maximum  $B$  der radialen Feldstärke vorstellt. Sinkt der Wechselstrom (Fig. 272 b) auf  $0,866 J$ , so nimmt auch die radiale Feldstärke  $B_1$  an den Punkten  $90^\circ$  und  $270^\circ$  des Lauferumfangs entsprechend ab, und für die übrigen Punkte ergeben sich die radialen Feldstärken nach der Gleichung (82). In Fig. 272 c ist die Änderung der radialen Feldstärke am Ankerumfang dargestellt, wenn der Wechselstrom gleich  $0,5 J$  geworden ist. Hat der Wechselstrom die augenblickliche Stärke 0 (Fig. 272 d), so sind auch alle radialen Feldstärken am Lauferumfang gleich Null. Die Darstellungen Fig. 272 e und f erklären sich danach leicht.  $B$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  u. s. w. kann man als die Amplituden der Feldkurve bezeichnen. Jeder augenblicklichen Stärke des Wechselstromes entspricht eine bestimmte Amplitude der Feld-

ve bei  $90^\circ$  und  $270^\circ$ , und nach einer Sinuskurve nimmt von beiden Werten in allen Fällen die radiale Feldstärke nach den Punkten  $0^\circ$  und  $360^\circ$  sowie  $180^\circ$  und  $360^\circ$  zu ab.

Die Figuren 272 geben zusammen ein Bild von den zeitlichen Änderungen der Feldstärke an jedem Punkte des Läuferumfanges oder des

Fig. 272 d — f



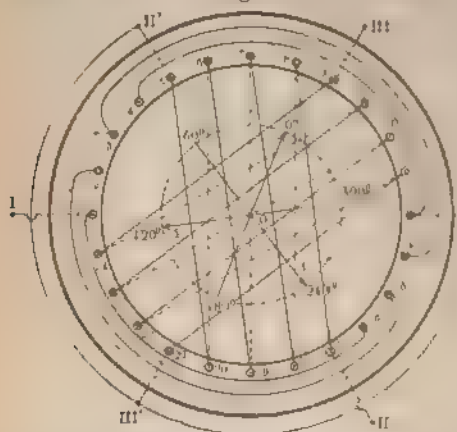
Stromkreisraumes. Die Darstellung ergibt zugleich, daß an allen Stellen des Läuferumfanges die radiale Feldstärke periodisch die Stärke und Richtung wechselt.

§ 73. Die Vereinigung von mehreren Wechselfeldern zur Herstellung eines Drehfeldes. Das Drehfeld entsteht durch die Vereinigung von zwei, drei oder mehreren räumlich gegeneinander versetzten Wechselfeldern, welche durch Wechselströme hervorgebracht werden, die gleiche Frequenz und effektive Stärke haben, aber Phasenverschiebungen gegeneinander aufweisen. Der in Deutschland gebräuchlichste Drehstrommotor trägt drei Wicklungen, durch welche drei Wechselströme fließen, deren Phasendifferenz gegeneinander  $120^\circ$  beträgt. Die für die Drehstrommotoren verwendeten Magnetgestelle haben keine Polansätze, sondern sind aus Eisenblechen mit Papierisolation zusammengebaute Ringe, an deren Innenseiten (Fig. 273, a. f. S.) die stromführenden und wirksamen Leiter in fast geschlossenen Nuten eingebettet sind. In allen Fällen werden die Drehstrommotoren vier- und mehrpolig gewickelt, während die Wicklung Fig. 273 nur der Übersicht wegen eine zweipolige ist.

Die Spule  $II'$  umfaßt die Drähte 1 — 16 — 2 — 15 — 3 — 14 — 4 — 13. Die Verbindungen dieser Drähte sind auf der vorderen und hinteren Stirnfläche geführt. Tritt der Wechselstrom bei  $I$  ein, hat das Feld die Richtung  $OI$ , tritt er jedoch bei  $I'$  ein, so hat das Feld die entgegengesetzte Richtung.

Die Windungsebenen der Spule  $II\ II'$  sind entgegen der Uhrzeigersbewegung um  $120^\circ$  gegen die Spule  $II'$  gedreht. Der Übersicht wegen sind die Verbindungen der wirksamen Leiter der Spule  $II\ II'$  wie an den Stirnflächen gezogen, ebenso auch nicht bei der Spule  $III\ III'$ , deren Windungsebenen wiederum um  $120^\circ$  geneigt gegen die der

Fig. 273.



Spule  $II\ II'$  liegen fließt der Wechselstrom von  $II$  nach  $II'$ , so ist die Feldrichtung 01, und fließt derselbe von  $III$  nach  $III'$ , so ist die Feldrichtung 03. Wir erhalten damit drei feststehende Wechselfelder, deren Richtung 01, 02, 03 oder die entgegengesetzten sind.

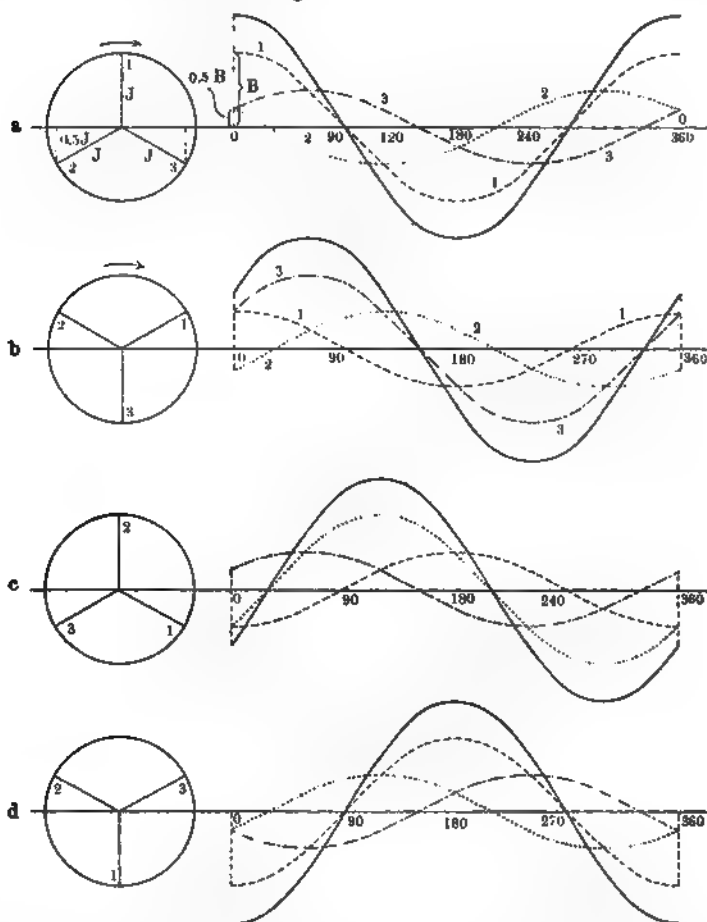
Der zeitliche Verlauf der drei Wechselströme ist bereits in Fig. 274 dargestellt.

In Fig. 274a ist zunächst angenommen, daß der Wechselstrom 1 in  $II'$  seinen Höchstwert  $J$  hat, und das Feld hat demgemäß seine größte Stärke. Bei  $0^\circ$  und  $180^\circ$  also ist das von der Spule  $II'$  herrührende Feld am Ankerumfang am stärksten. Die Kurve 1 gibt die Größe der radialen Feldstärke am Ankerumfang an, soweit dieselbe von der Spule  $II'$  herrührt. Da die Ordinate von 2 unterhalb der horizontalen Achse liegt, so tritt der Wechselstrom 2 bei  $II'$  ein, und bei  $30^\circ$  bzw.  $120^\circ$  liegen die Höchstwerte des zugehörigen Feldes. Die von den Wechselströmen 2 und 3 hervorgerufenen Höchstwerte der Feldstärke oder Amplituden der Feldkurve sind, den Phasen der Ströme entsprechend, nur halb so groß wie die Amplitude der Feldkurve 1, da auch die in Fig. 274a dargestellten Stärken der Ströme 2 und 3 nur halb so groß sind wie die des Wechselstromes 1. Die drei Kurven 1, 2 und 3 geben also die radialen Feldstärken am Läuferumfang an, die bezw. von den Spulen  $II'$ ,  $II\ II'$  und  $III\ III'$  herrühren. Addiert man für jeden Punkt die Ordinaten der drei Kurven, so ergibt sich die Stärke des resultierenden Feldes, die durch die ausgezogene Kurve dargestellt wird. Der Höchstwert des resultierenden Feldes fällt örtlich mit demjenigen Wechselfelde zusammen, das gerade in dem betrachteten Augenblicke seinen größten Wert hat. Ist ferner  $B$  der Höchstwert des letzteren, so ist nach Fig. 276a und den folgenden der Höchstwert des Drehfeldes  $= 3,2 \cdot B$ .

Fig. 274b stellt den Augenblick dar, in welchem der Wechselstrom 1 seinen Höchstwert erreicht hat, und die drei Wechselströme

von 3 seinen Höchstwert hat und der Strom 3 bei  $III'$  eintritt. Die Zustände Fig. 274 b treten  $\frac{1}{6}$  Periode später ein als die in Fig. 274 a dargestellten. Das Maximum des resultierenden Feldes liegt nunmehr bei  $60^\circ$ . Aus den übrigen Figuren ergibt sich, daß das

Fig. 274 a — d.



Maximum des resultierenden Feldes längs des Läuferumfanges fortbreitet, wir erhalten also als Resultierende der drei feststehenden Wechselfelder ein Drehfeld, das in jeder Periode des Wechselstromes eine Umdrehung macht.

Schon vorher ist hervorgehoben, daß die Drehfeldmotoren meist vier- und mehrpolig konstruiert werden. Für diese ergibt sich die Schlußwicklung einfach aus der Fig. 273. Bei der Wicklung Fig. 273 wird durch die Vereinigung der drei Wechselfelder ein

Polpaar im Gehäuse hervorgebracht, das in Umlauf begriffen wie die Pole in Fig. 268. Nimmt jede der Spulen nur ein Viertel Ständerumfangs ein und gehören demnach zu jedem der drei Wechselströme vier Spulen, so hat das resultierende Drehfeld zwei Pole, die um  $90^\circ$  verschoben gegeneinander am Gehäuseumfang liegen. Wicklung des Gehäuses würde dann genau der in Fig. 258 und dargestellten entsprechen. Daraus ergibt sich dann leicht die Wirkung der Ständer oder Gehäuse mehrpoliger Drehstrommotoren.

§ 74. Asynchrone Drehstrommotoren. Bei diesen Motoren Ständerwicklung im vorigen Paragraphen besprochen ist, im einfachsten Falle als Läufer ein Kurzschlussanker verwendet.

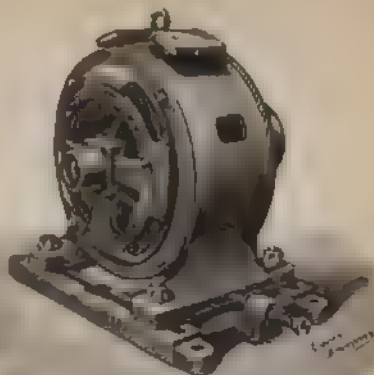
In Fig. 275 ist ein Drehstrommotor der Deutschen Elektrizitätsgesellschaft in Aachen, Modell D, mit Kurzschlussanker auf Spannschlitten dargestellt. In der nachfolgenden Tabelle sind Angaben über Leistung, Tourenzahl enthalten.

Modell	Leistung in P. S. ca.	Umdrehungen pro Minute bei 50 Period. ca.	Ausgeführt für Spannungen in Volt ca.	Stromstärke in jeder Leitung bei 110 Volt in Amp. ca.	Erforder- liche Energie in Watt ca.	Nutzeffekt in Proz. ca.	Leistungs- grad ca.
D 1	$\frac{1}{8}$	1920	110	1,8	185	50	0,7
D 2	$\frac{1}{4}$	1350	110	2,5	310	60	0,7
D 5	$\frac{1}{2}$	1380	$\left\{ \begin{smallmatrix} 110 \\ 220 \end{smallmatrix} \right\}$	4	540	68	0,7
D 10	1	1400	$\left\{ \begin{smallmatrix} 110 \\ 220 \end{smallmatrix} \right\}$	6,5	1000	75	0,7
D 20	2	1400	$\left\{ \begin{smallmatrix} 110 \\ 220 \end{smallmatrix} \right\}$	12	1870	79	0,7
D 20 a	2	920	$\left\{ \begin{smallmatrix} 110 \\ 220 \end{smallmatrix} \right\}$	12	1900	78	0,7
D 30	3	1400	$\left\{ \begin{smallmatrix} 110 \\ 220 \end{smallmatrix} \right\}$	17	2700	80	0,7
D 30 a	3	920	$\left\{ \begin{smallmatrix} 110 \\ 220 \end{smallmatrix} \right\}$	17	2750	80	0,7
D 50	5	1420	$\left\{ \begin{smallmatrix} 110 \\ 220 \\ 500 \end{smallmatrix} \right\}$	27	4500	82	0,7
D 50 a	5	930	$\left\{ \begin{smallmatrix} 110 \\ 220 \\ 500 \end{smallmatrix} \right\}$	28	4600	81	0,7

Da der Läufer in seiner Tourenzahl hinter dem Drehfelde zurückbleiben muß (vergl. § 71), so gehört der Motor dieser Art zu asynchronen Motoren, bei denen das Drehmoment durch in der Läuferwicklung induzierten Ströme entsteht (Induktionsmotoren).

Induktionsmotoren können auch für einphasigen Wechselstrom konstruiert werden. Wir wollen uns hier jedoch nur auf die Beschreibung der Induktionsmotoren für Dreiphasenstrom beschränken.

Fig. 275



Bringt man an die de. Kurzschlußankerstrom durch Gleichstrom einen Elektromagneten in Drehfeld, so ergibt sich vollständige Umkehrung Drehstrommaschine (Fig. 275), und wir erhalten einen synchronen Drehstrommotor. Bei diesem bewegt der rotierende Magnet gleicher Geschwindigkeit das Drehfeld. Bei den Motoren dieser Art ist eine andere Erregung des Magneten durch Gleichstrom erforderlich, die bei dem asynchronen Motor fortfällt. Der synchrone Motor

nicht von selbst an, sondern er muß durch eine Hilfsmaschine erst die Geschwindigkeit des Drehfeldes gebracht werden. Wird der Motor gestartet, so fällt er aus „dem Tritt“ und bleibt stehen. Innerhalb der Touren der Belastung bleibt die Tourenzahl für alle Belastungen konstant.

1. Betriebsbedingungen der asynchronen Drehstrommotoren. Vom Generator aus werden durch die mit elektrischer Energie zu versorgenden Räume drei Leitungen gezogen. Wie bei Betrieben mit konstanter Spannung (vergl. S. 90) werden hier drei Hauptleitungen verlegt, von denen nach Bedarf Nebenleitungen die Motoren abzweigend werden.

Die Dynamo (Generator) wird so reguliert, daß an allen Stellen zwischen je zwei der Hauptleitungen bzw. deren Abzweigungen die gleiche effektive Spannungsdifferenz vorhanden ist. Um auch eine konstante Rotationsgeschwindigkeit der Drehfelder in den Motoren zu erhalten, wird die Periodenzahl der Wechselströme durch sorgfältige Regulierung der Tourenzahl der Dynamos bzw. deren Antriebsmaschinen konstant gehalten. Die hauptsächlichen Bedingungen des Betriebes der Drehstrommotoren sind also a) konstante Spannungsdifferenz zwischen je zwei der drei Hauptleitungen, b) konstante Periodenzahl der Wechselströme.

2. Aufbau der asynchronen Drehstrommotoren. Das Gehäuse oder der Ständer (Stator) des Drehstrommotors ist bereits S. 73 beschrieben. Dem Gehäuse werden die drei Wechselströme durch drei feststehende Polklemmen zugeführt. Während bei den Induktionsmotoren der Kollektor zur Stromzuführung nach dem Anker

dient, kommt dieser empfindliche Teil der Maschine beim Drehstrommotor in Fortfall.

Der Läufer wird als Cylinder aus Eisenblechscheiben wie der Stator bei den Gleichstrommaschinen hergestellt. Der Ständer oder der Gehäuse besteht ebenfalls aus Eisenblechscheiben und umgibt als Hohlzylinder den Läufer. Am Umfange des Ankers, sowie am inneren Umfange des Läufers liegen die Drähte in Nuten oder in Löcher eingebettet.

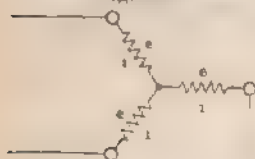
Der Anker der Drehstrommotoren kann sein

a) ein Kurzschlussanker, dessen Einrichtung bereits in § 74 besprochen ist. Kurzschlussanker werden aus nachher zu erörternden Gründen nur für Motoren mit geringen Leistungen benutzt. Die Zahl der am Ankerumfang eingelegten Stäbe kann beliebig sein und ist von der Zahl der Pole des Ständers unabhängig (Käfigläufer nach Dobrowolski). Bei einer anderen, jedoch weniger vorteilhaften Ausführung schließt man gewisse symmetrisch gelegene Kupferstäbe auch in solcher Weise, daß auch in der Bewickelung des Läufers sich die drei Phasen ergeben;

b) ein Schleifring- oder Phasenanker. Die Wickelung des Ankers oder Läufers ist nach denselben Grundsätzen ausgeführt wie die des Ständers. Dabei sind die drei Spulengruppen (Phasen des Ankers meistens in Sternschaltung verbunden, während die drei freien Enden der Phasen an drei auf der Welle des Motors befestigte Schleifringe gelegt sind. Wir haben hier auf dem Läufer eine offene Wickelung. Motoren für Leistungen über 7 P.S. schon werden von vielen Firmen mit Schleifringankern ausgerüstet. An die drei Schleifringe sind während des Anlassens drei Widerstände angeschlossen, in welche die im Läufer bei der Bewegung im Drehfelde induzierten Ströme fließen. Die drei Widerstände sind ebenfalls in Sternschaltung verbunden. Nach dem Anlassen des Motors werden die drei Schleifringe bzw. die drei Bürsten kurz geschlossen. Motoren mit Schleifringankern eignen sich auch für eine stetige und allmähliche Regulierung der Tourenzahl.

§ 75. Betriebsverhältnisse des asynchronen Drehstrommotors. Der Drehstrommotor mit Kurzschlussanker verbraucht beim

Fig. 276



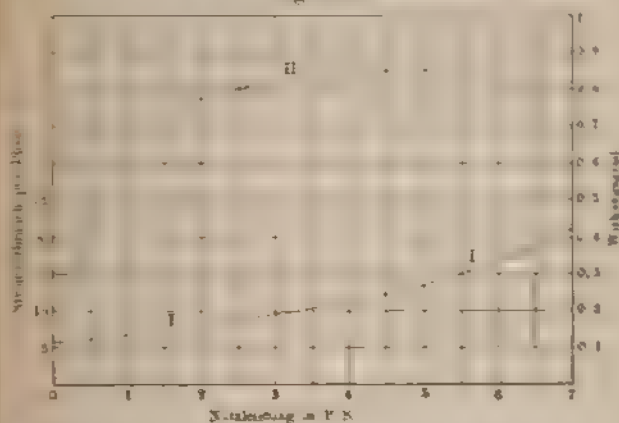
Leerlauf einen Strom, dessen Stärke etwa  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{1}{3}$  der normalen Betriebsstromstärke beträgt. Dieser hohe Leerlaufstrom ist in dem auf S. 103 behandelten Nebenschlussmotor nur etwa 5 Proz. des normalen Betriebsstromes ausmacht, ist ein Nachteil der Drehstrommotoren. Die Kurve I (Fig. 276) stellt den Stromverbrauch eines 5 P.S.

Motors der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, pro Phase dar und zeigt, daß beim Leerlauf etwa 6 Ampère pro Phase



es werden während bei der normalen Belastung von 5 P.S. die  
 starke in jeder Phase 14 Amp. beträgt. Dabei sei jedoch gleich  
 hingewiesen, daß bei den modernen Motoren der Energier-  
 beim Leerlauf infolge der großen Phasendifferenz zwischen der  
 spannung und der Stromstärke nur etwa 5 bis 10 Proz. der  
 den Leistung ausmacht. Ist also  $e$  die Spannung in jeder der  
 Phasen des Motors bei Sternschaltung (Fig. 276) und  $i$  die Strom-  
 in denselben, so ist die Phasendifferenz  $\varphi$  zwischen beiden so groß,  
 der Energieverbrauch [siehe Gleichung (63)] nur gering ausfällt.

Fig. 277.



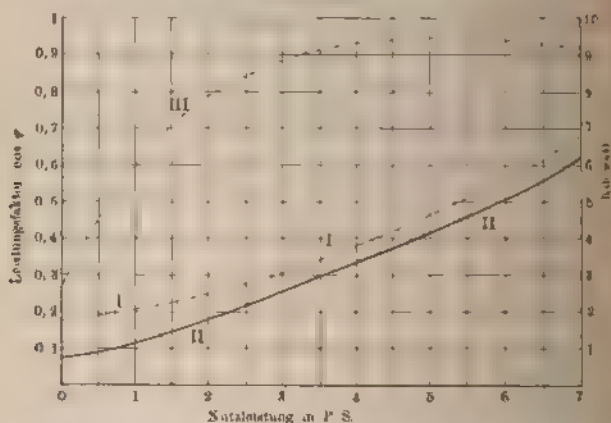
Bezüglich des Wirkungsgrades liegen beim Drehstrommotor die  
 Verhältnisse ganz ebenso wie beim Gleichstrommotor. Ein richtig  
 konstruierter Drehstrommotor hat seinen höchsten Wirkungsgrad bei  
 normaler Leistung (siehe Fig. 161); auch bei ihm ändert sich der  
 Wirkungsgrad nur unmerklich, wenn die Belastung zwischen  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{3}{2}$   
 der normalen schwankt. In Fig. 277 stellt die Kurve II den Wirkungs-  
 grad des genannten 5 P.S.-Drehstrommotors für Belastungen bis 7 P.S.

Die Kurve I in Fig. 278 gibt den scheinbaren Energiever-  
 brauch dieses Motors, während die Kurve II den wirklichen  
 Energieverbrauch für Belastungen vom Leerlauf bis 7 P.S. dar-  
 stellt. Die Differenz zwischen beiden fällt um so kleiner aus, je mehr die  
 Belastung der normalen Belastung sich nähert. Der Leistungsfaktor  
 ist die Zahl, mit welcher der scheinbare Energieverbrauch zu  
 multiplizieren ist, um den wirklichen zu erhalten. Die Kurve III  
 (Fig. 278) stellt den Betrag des Leistungsfaktors für verschiedene Be-  
 lastungen dar. Beim Leerlauf ist  $\varphi$  besonders groß und daher  $\cos \varphi$   
 klein. Für den in Fig. 278 dargestellten speziellen Fall eines  
 5-P.-Motors zeigt sich, daß bei einer Abnahme der Belastung noch  
 unter 2 P.S., d. h. unter 40 Proz. der normalen, der Leistungsfaktor  
 abnimmt. Für kleine Belastungen, die also weniger als 40 Proz.

der normalen ausmachen, arbeiten die Drehstrommotoren demnach sehr ungünstig. Ganz dieselben Verhältnisse liegen auch bei mechanischen Motoren vor.

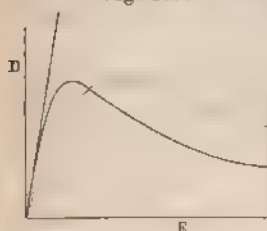
Nach der Gleichung 81 ist das Drehungsmoment der effektiven Stromstärke  $i_0$  in den Leitern des Kurzschlussankers proportional, daher auch nach der Gleichung 80 der Schlüpfung bzw. dem Schlüpfungverhältnis  $\varepsilon$ . Wird der leer laufende Motor belastet, so muß Schlüpfung  $\omega_1 - \omega$ , proportional der zu entwickelnden Zugkraft nehmen, damit zur Erzeugung einer größeren effektiven Stromstärke

Fig. 278



im Läufer die Drähte des letzteren von einer großen Anzahl Leitern geschnitten werden. Die Geschwindigkeit des Drehfeldes dabei als unveränderlich vorausgesetzt. Da bei dem mit konstanter Spannung betriebenen Drehstrommotor die Stärke des Drehfeldes unter allen Verhältnissen konstant bleibt, muß nach einer Vergrößerung der Belastung zur Erhöhung des Drehmomentes die effektive Stärke  $i_0$  in den Leitern des Ankers (Läufers) zunehmen. Die zu entwickelnde Zugkraft müßte dann mit der Schlüpfung wachsen, bis der Motor still steht. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß dieses nicht der Fall ist und daß wegen der magnetischen Streuung, die besteht, daß nicht alle von der primären Wicklung des Ständers erzeugten Kräfte in den Läufer treten, sondern um die in den eingebetteten Drähten im Gehäuse und Luftzwischenraum sich verhalten und also nicht zur Erhöhung der Zugkraft bzw. des Drehmomentes beitragen. Für geringe Werte des Schlüpfungsverhältnisses nimmt das Drehungsmoment annähernd in gleichem Verhältnisse

Fig. 279.



eingebetteten Drähte im Gehäuse und Luftzwischenraum sich verhalten und also nicht zur Erhöhung der Zugkraft bzw. des Drehmomentes beitragen. Für geringe Werte des Schlüpfungsverhältnisses nimmt das Drehungsmoment annähernd in gleichem Verhältnisse

ge bevor aber das Schlüpfungsverhältnis  $\epsilon$  (Fig. 279) den Wert 1 erreicht, d. h. der Kurzschlussanker still steht ( $\omega_2 = 0$ ), erreicht die Kraft bezw. das Drehungsmoment einen Grenzwert, der nicht überritten wird. Würde über diesen Betrag hinaus der Motor belastet, bliebe er aus dem Tritt und bliebe plötzlich stehen. In Fig. 279 ist die ausgezogene Kurve, in welcher Weise sich das Drehungsmoment  $D$  mit dem Schlüpfungsverhältnis  $\epsilon$  ändert;  $D$  wächst zunächst gleichmäßig mit  $\epsilon$  an, erreicht dann den höchsten Wert und nimmt über mit wachsendem  $\epsilon$  wiederum ab. Am Anfange der Kurve ist eine Tangente gezogen, deren Anstieg die Zunahme des Drehungsmomentes mit wachsender Schlüpfung darstellen wurde, wenn die magnetische Streuung im Luftzwischenraum zwischen Ständer und Läufer nicht wäre.

Die höchste zulässige Belastung der Drehstrommotoren ist wie den Gleichstrommotoren auch durch die Erwärmung der Wicklungen gegeben. Bei guten Motoren liegt die mit Rücksicht auf die Erwärmung zulässige Belastungsgrenze erheblich unterhalb der Belastung, die der höchsten Ordinate der Drehmomentkurve (Fig. 279) entspricht, damit nicht bei einer geringen Überschreitung der zulässigen Belastung der Motor aus dem Tritt fällt und stehen bleibt.

Die Tourenzahl des Läufers und die Regulierung derselben. Die Tourenzahl des Drehstrommotors ergibt sich aus der Zahl der Umdrehungen des Drehfeldes pro Sekunde. Ist  $n$  die Zahl der Perioden jedes der drei Wechselströme, und hat die Wicklung des Ständers  $p$  Polpaare, so macht das Drehfeld in der Sekunde

$$n_1 = \frac{n}{p} \text{ Umdrehungen.}$$

Wie wir bereits früher hervorgehoben, weshalb der Läufer die "synchron Umlaufzahl"  $n_1$  nicht annehmen kann. Die Tourenzahl des Läufers weicht jedoch wenig ab von  $n_1$ ; sie nimmt vom Leerlauf zur vollen Belastung um etwa 5 Proz. ab. Beim Leerlauf ist das Schlüpfungsverhältnis  $\epsilon$  sehr klein, etwa 0,01. Mit wachsender Belastung nimmt  $\epsilon$  zu und wird also bei normaler Belastung im Mittel etwa 0,05.

Da  $n$  durch die Umdrehungszahl des Drehstromgenerators gegeben ist, der die drei Wechselströme für den Drehstrommotor liefert, so kann die Tourenzahl des Motors durch die des Generators reguliert werden, indem die Spannung zwischen den Hauptleitungen konstant bleiben, was bei dem Betrieb weiterer Motoren und etwa an das Netz angeschlossener Lampen erforderlich ist, so kann die Tourenzahl des Generators so weit erniedrigt werden, wie die Steigerung der Stromstärke an den Magnetspulen des Generators es zulässt. Immerhin kann diese Methode der Regulierung nur in einzelnen Fällen Anwendung finden, die größere Leitungsnetze mit Licht- und Kraftbetrieb ist meistentens geschlossen.

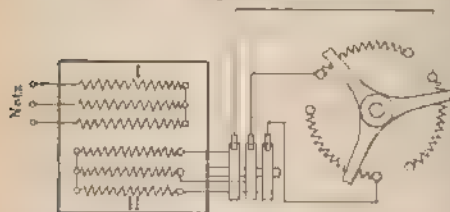
Die Tourenzah! kann langsam dadurch geändert werden, daß man regulierbare Widerstände in den Ankerwindungen hinzuschaltet. Wird der Widerstand jeder Ankerwindung verdoppelt, so wird auch für eine bestimmte Zugkraft die Schlüpfung verdoppelt. Bei dem Motor mit einer bestimmten Zugkraft eine gewisse Belastung überwinden, und wird plötzlich der Widerstand der Läuferwicklung verdoppelt, so muß sich auch die Schlüpfung verdoppeln, damit dieselbe Zugkraft auch weiterhin ausgeübt werden kann. Der Motor läuft also von selbst auf die doppelte Schlüpfung ein. In Fig. 279 gibt die punktierte Kurve die Änderung des Drehungsmomentes mit der Schlüpfung an, wenn der Widerstand des Läufers auf den doppelten Betrag erhöht wird. Dabei ergibt sich, daß, wenn der Anker mit einfachem Spulenwiderstand und der Anker mit doppeltem Spulenwiderstand dasselbe Drehungsmoment  $D$  ausüben würden, die Schlüpfung des ersten gerade halb so groß ist wie die des zweiten. Diese Methode der Regulierung, welche in ähnlicher Weise wirkt wie die Regulierung der Tourenzah! von Gleichstrommotoren durch dem Anker vorgeschaltete Widerstände (vergl. S. 112), hat jedoch die folgenden Nachteile:

1. Durch diese Methode kann die Tourenzah! nur unterhalb des normalen erniedrigt werden, nicht aber über diese hinaus erhöht werden.

2. Durch den doppelten Ankerwiderstand wird der Energieverlust  $i^2 \cdot w$  im Anker ebenfalls verdoppelt. Der Wirkungsgrad nimmt daher in demselben Maße ab wie die Tourenzah!. Außerdem sind die Schwankungen der Tourenzah! bei Änderungen der Belastung proportional dem Widerstande der Ankerspulen. Je höher dieser ausgewählt wird, desto mehr schwankt die Tourenzah! bei Belastungsänderungen.

Das Hinzufügen von Widerstand an jeder der Ankerspulen wird praktisch große Schwierigkeiten machen. Man führt daher diese

Fig. 280.



Methode der Regulierung aus, daß man den Anker als Schleifringanker konstruiert. Die drei Phasen desselben sind im Gehäuse in Sternschaltung verbunden und an die drei Schleifringe der drei Widerstände gelegt, welche ebenfalls durch eine dreiphasige Kurbel in Sternschaltung verbunden sind (Fig. 280 und 281) (Regulier-Schleifringanker).  $I$  ist die primäre Wicklung des Generators, welche durch drei Leitungen an das Netz angeschlossen wird.

Anlauf- und Anlafsvorrichtungen. Schließt man die Hauswicklung eines Drehstrommotors mit Kurzschlussanker an das Netz konstanter Spannung an, so befindet sich der ruhende

Anker plötzlich in einem Drehfelde, durch welches in ihm starke Ströme induziert werden. Während im normalen Betriebe die Schlüpfung etwa 5 Proz. beträgt, würde diese im Momente des Einschaltens 100 Proz. sein, und demgemäß würden im Anker auch sehr viel stärkere Ströme beim Anlaufen induziert als während des normalen Betriebes. Die Untersuchung ergibt, dass infolge dieses hohen Anker-

Fig. 261.



stromes auch die Stärke des Stromes in der Gehäusewicklung beträchtlich ansteigt; beide Ströme zusammen bringen das magnetische Drehfeld hervor, dessen Stärke, wie schon vorher bemerkt ist, so lange unter allen Umständen konstant bleibt, wie die Betriebsspannung bzw. Polklemmenspannung einen unveränderlichen Wert hat.

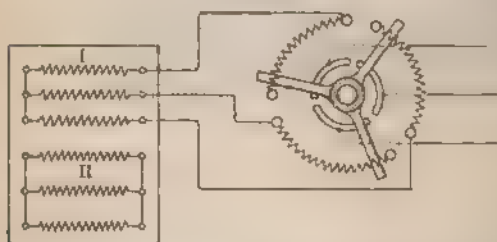
Während demnach unter Berücksichtigung der Schlüpfung der Strom im Anker beim Anlauf etwa 20mal so groß sein muss als beim normalen Betriebe, so ist in Wirklichkeit infolge der magnetischen Streuung die eigentliche Anlaufstromstärke oder die Stromstärke in der Gehäusewicklung des Kurzschlussankers etwa 3- bis 4mal so groß wie die normale Betriebestromstärke. Aus diesem Grunde kann jeder Drehstrommotor mit Kurzschlussanker auch voll belastet direkt ohne weitere Umstände an das Netz angeschlossen werden, besonders dann, wenn bei Dauerbetrieb das Einschalten nur weniger häufig erfolgt, und damit nur selten die beim Anlauf entwickelte Wärmemenge in der Wicklung erzeugt wird. Der asynchrone Drehstrommotor läuft von selbst an. Man erhält beim Anlauf eine Anzugskraft, die gleich der normalen Zugkraft ist, wenn der Stromverbrauch beim Anlauf etwa das Dreifache bis Vierfache der normalen Stromstärke ist. Durch den starken Stromverbrauch beim Anlauf der Motoren mit Kurzschlussanker wächst in der Leitung der Spannungsverlust erheblich an, außerdem wird durch die momentane Vergrößerung der Stromstärke auf den Generator eine Rückwirkung ausgeübt, welche zu anhebsamen Spannungsschwankungen Veranlassung gibt. Motoren mit Kurzschlussanker werden daher häufig nur in solchen Fällen angewendet, wo der Motor mit geringer Belastung angeht. Größere Drehstrommotoren erhalten statt des Kurz-



schlussankers einen Schleifringanker. Drehstrommotoren unterhalten fast überall Anker mit Kurzschlusswicklung und meistens direkt eingeschaltet werden, wie der in Fig. 281 dar. Drehstrommotor mit Kurzschlussanker der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin. Bis zu welcher Leistung dies überbaulich ist, richtet sich nach der Größe der Anlage bzw. der der Generatoren; für Drehstromcentralen bestehen meist Bestimmungen über die Größe der Motoren mit Kurzschlussanker, die direkt an das Netz angeschlossen werden dürfen.

Anlassvorrichtung für Motoren mit Kurzschlussanker bei werden in den drei Zuleitungen zum Motor regulierbare Widerstände

Fig. 282.



die den sogenannten Polwiderstand bilden. Diese Widerstände werden durch die Bürste eingeschaltet (Fig. 282). Während des Anlaufes wird die Netzspannung allmählich herabgesetzt, so dass der Motor nicht über seine Nennspannung hinaus belastet wird, so wird während des Anlaufes

die Stärke des Drehfeldes und damit auch die Größe der Zugkraft gedreht. Hierbei sei nochmals hervorgehoben, dass die Stärke des Drehfeldes allein durch die Polklemmenspannung bzw. Betriebsspannung bestimmt ist, und solange letztere konstant bleibt, behält auch die Stärke des Drehfeldes einen unveränderlichen Wert. Bei dieser Methode des Anlaufes, also der Motor mit schwachem Drehfeld und starkem Strom in der Kurzschlusswicklung an. Durch den der Ständerwicklung I vorgeschalteten Widerstand

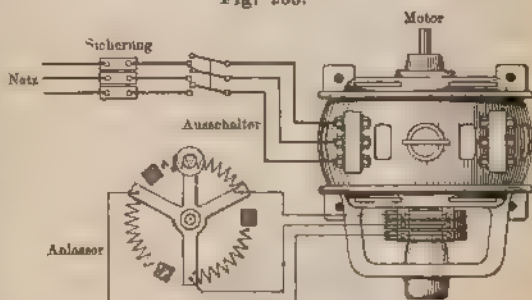
Fig. 282a.



wird nur erreicht, dass der Stromstoß in Rücksicht auf das Leitungssystem des Generator abgeschwächt wird. Für den Betrieb, insbesondere für den Anlauf des Motors, ist ein solcher Widerstand nur unvorteilhaft. Die in Fig. 282 dargestellte Methode des Anlaufes empfiehlt sich nur, wenn der Motor unbeaufsichtigt anlaufen soll. Fig. 282a stellt einen Motor mit Kurzschlussanker der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, nebst Anlassvorrichtung in den Zuleitungen zur Ständerwicklung dar.

Die Motoren mit Schleifringanker werden beim Anlauf mit einem Anlaufwiderstand nach Fig. 283 verbunden. Die Ständerwicklung wird dabei durch einen dreipoligen Ausschalter direkt an das Netz angeschlossen. Die in Sternschaltung verbundenen drei Phasen des Läufers sind an die drei Schleifringe angeschlossen (vergl. Fig. 280). Durch die dem Läufer zugeschalteten Widerstände, die im Anlasser gleichfalls in Sternschaltung verbunden sind, kann man die Stromstärke während des Anlaufes regulieren. Motoren mit Schleifringanker laufen daher mit starkem Felde und mit schwachem Strome in der Läuferwicklung an. Damit das Anzugsmoment beim Anlaufe gleich dem des normalen Betriebes ist, braucht die Anlaufstromstärke nur gleich der normalen Betriebsstromstärke zu sein. Um die Anzugskraft zu verdoppeln, ist auch die doppelte Stromstärke in der Ständerwicklung beim Anlassen nötig. Der mit Schleifringanker versehene Drehstrommotor verhält sich also bezüglich des Stromverbrauches und der Zugkraft beim Anlassen wie der Gleichstrommotor mit Nebenschlußwicklung. Während des Anlassens werden die an die Schleifringe geschlossenen Widerstände allmählich ausgeschaltet, so daß schließlich die Bürsten kurz geschlossen sind.

Fig. 283.



gleich des Stromverbrauches und der Zugkraft beim Anlassen wie der Gleichstrommotor mit Nebenschlußwicklung. Während des Anlassens werden die an die Schleifringe geschlossenen Widerstände allmählich ausgeschaltet, so daß schließlich die Bürsten kurz geschlossen sind.

Fig. 283a.



Fig. 283a stellt einen Drehstrommotor mit Schleifringanker und Anlasser der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, dar.

Bei den Motoren mit Schleifringanker kann die Tourenzahl durch den Anlaufwiderstand verändert werden. Wird der vorgeschaltete Widerstand vermehrt, so sinkt die Tourenzahl (vergl. S. 208). Der Drehstrommotor verhält sich dabei wie ein Nebenschlußmotor, dessen



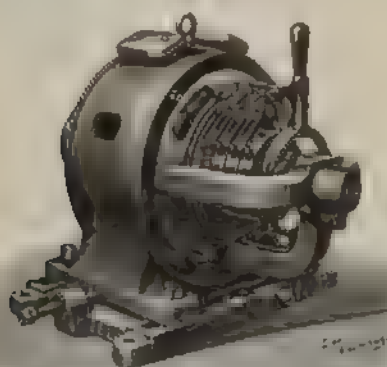
Tourenzahle durch Widerstände herabgedrückt wird, die der Ankerwicklung vorgeschaltet werden.

Die Motoren mit Schleifringanker und Kurzschliesser werden wie die Motoren mit Schleifringanker angelassen. Nachdem die normale Tourenzahl erreicht ist, werden die Läuferwindungen durch eine einfache Hebelvorrichtung kurz geschlossen. Dabei werden gleichzeitig die Bürsten durch diese Hebelvorrichtung von den Schleifringen abgehoben. Der Motor arbeitet dann im Betriebe bezüglich der Tourenzahl mit allen Vorteilen der Motoren mit Kurzschlussanker, während für das Anlassen die Vorteile des Schleifringankers zur Geltung kommen. Wir weisen noch darauf hin, daß das Drehmoment des Phasenankers bei gleicher Stärke des Drehfeldes und bei gleicher Stromstärke in der Läuferwicklung nicht ganz so groß ist, wie das des Kurzschlussankers.

Ein Drehstrommotor Modell D mit Schleifringanker und Kurzschliesser auf Spannschritten, herrührend von den Deutschen Elektrizitätswerken in Aachen, ist in Fig. 284 dargestellt.

Der in Fig. 283 dargestellte Anlasser dient im allgemeinen nur für das Inbetriebsetzen des Motors. Die Anlaufwiderstände sind dabei

Fig. 284.



für große Stromdichte berechnet, so daß zur Vermeidung einer zu großen Erwärmung die Widerstände rasch, mindestens in einer halben Minute, ausgeschaltet werden müssen. Sollte der Anlasser zugleich zur Regulierung der Tourenzahl dienen, so ist der Querschnitt des Widerstandsmaterials größer zu wählen. Sehr bequem sind auch zur Anlassen die Flugscheitelsanlasser.

Umsteuerung der Drehstrommotoren. Die Umkehrung der Umdrehungsrichtung des Drehstrommotors erfolgt einfach dadurch, daß man zwei der drei Zuleitungen vom Netze nach der Ständerwicklung miteinander vertauscht. Soll der Läufer in entgegengesetzter Richtung laufen, so schaltet man zunächst den Motor ab und nimmt dann mit einem dreipoligen Umschalter die Vertauschung zweier Leitungen vor. Aus- und Umschalter sind meistens in demselben Apparat vereinigt. Größere Motoren müssen vor der Umsteuerung überhaupt erst still gesetzt und sodann mittelst Anlasser nach der Vertauschung der beiden Leitungen wieder in Betrieb gesetzt werden.

**Vorteile der Drehstrommotoren.** Die Drehstrommotoren zeichnen sich durch einfache Bauart aus, die besonders beim Motor mit kurzschlussanker hervortritt, aber auch dem Motor mit Schleifringanker eigen ist. Der sehr empfindliche Kollektor der Gleichstrommotoren ist bei den Drehstrommotoren nicht vorhanden. Infolge der einfachen Bauart der asynchronen Drehstrommotoren ist die Wartung derselben auf das geringste Maß beschränkt.

Setzt man gleiche Konstruktion und gleiche Dimensionen des Ankers und des Magnetgestalles voraus, so hat bei gleichen Verlusten im Anker der Drehstrommotor eine etwas größere Zugkraft als der Gleichstrommotor. Anzugskraft und Überlastungsfähigkeit guter Drehstrommotoren übertreffen meistens die der Gleichstrommotoren. Bei doppelter Belastung zeigt der Gleichstrommotor stets Neigung zur Funkenbildung, die beim Drehstrommotor nicht auftreten kann, der ebenso leicht wie der Gleichstrommotor für kurze Zeit die doppelte Belastung überwindet.

Der Drehstrommotor kann auch als Hochspannungsmotor für hohe Betriebsspannungen konstruiert und verwendet werden. Dies ist von hoher Bedeutung für den Wirkungsgrad der Energienübertragungen und Energieverteilungen auf weite Entfernungen. Da die primäre (Gehäuse-) Wickelung des Drehstrommotors feststeht, so kann sie leicht bei Anwendung geeigneter Schutzverkleidungen an die Hochspannungsleitung angeschlossen werden. Die Ankerwicklung kann dabei so ausgeführt werden, daß in ihr überhaupt keine hohen Spannungen entstehen. Die Gleichstrommotoren können dagegen für Spannungen über 1000 Volt nur schwierig verwendet werden wegen der Isolation der Kollektorlamellen, die schon infolge des Bürstenstaubes bei hohen Spannungen unzureichend ist.

Ein Nachteil der Drehstrommotoren liegt darin, daß die Regulierung der Tourenzahl in ökonomischer Weise unmöglich ist. Eine Beseitigung des Tourenabfalls vom Leerlauf bei Volllast oder eine Tourenerhöhung ist ausgeschlossen.

**§ 76. Wechselstromtransformatoren.** Der Transformator ist ein Apparat für Wechselströme ohne bewegte Teile zur Umwandlung elektrischer Leistung in elektrische Leistung.

1. **Wesen des Transformators.** Bringt man auf einen geschlossenen Eisenkern, der die Gestalt eines Ringes mit rechteckigem Querschnitt haben möge, zwei voneinander isolierte Bewickelungen  $p$  und  $s$  (Fig. 86), von denen die eine die andere vollständig überdeckt, und läßt man durch die Spule  $p$  einen Wechselstrom fließen, so entsteht im Eisenkern ein magnetischer Kraftlinienfluß, dessen Stärke und Richtung sich periodisch zugleich mit der Stärke des Wechselstromes in der Spule  $p$  ändert. Da die erzeugten Kraftlinien im Eisenkern Kreise bilden, so befindet sich im Innern der Spulen  $s$  und  $p$  ein der Stärke und Richtung nach veränderlicher Kraftlinienfluß, und die Spulen  $s$  und  $p$  verhalten sich ebenso wie die auf S. 180 betrachtete Spule, die in einem magnetischen Felde rotiert. In den Spulen  $s$  und  $p$  werden also elektromotorische Kräfte wechselnder Richtung induziert. Der Eisenkern mit den beiden Spulen  $s$  und  $p$  stellt einen Wechselstromtransformator dar;  $p$  ist die primäre Spule und  $s$  die sekundäre. Bei den praktisch ausgeführten Wechselstromtransformatoren kann man durch passende Anordnung der Spulen und durch die Konstruktion des Eisenkernes erreichen, daß fast der ganze Kraftlinienfluß, welchen der Strom der primären Spule hervorbringt, auch die Windungsebenen der sekundären Spule durchsetzt. Nehmen wir demnach an, daß die magnetische Streuung vernachlässigt werden kann, und schließen wir die Enden (Klemmen) der primären Spule an die beiden von den Pol-

klemmen einer Wechselstromdynamo ausgehenden Leitungen, so werden in den Spulen  $p$  und  $s$  elektromotorische Kräfte bezw.  $E_1$  und  $E_2$  induziert. Sind  $n_1$  und  $n_2$  die Windungszahlen bzw. der primären und der sekundären Bewicklung, so ist

$$E_1 : E_2 = n_1 : n_2$$

d. h. die in den beiden Spulen induzierten elektromotorischen Kräfte (effektive Werte) verhalten sich wie die Windungszahlen der Spulen. Die in der primären Spule induzierte E.M.K.  $= E_1$  wirkt dabei der Spannungsdifferenz  $e_1$  zwischen den Polklemmen der primären Spule entgegen.  $e_1$  ist die Spannungsdifferenz zwischen den beiden von der Wechselstromdynamo ausgehenden Leitungen. Diese Wechselspannung  $e_1$  ist größer als  $E_1$  in Rücksicht auf den Spannungsverlust in der Spule  $p$ . Zwischen den Polklemmen der sekundären Spule entsteht eine Wechselspannung  $e_2$ , und annähernd haben wir auch

$$e_1 : e_2 = n_1 : n_2$$

Die in der primären Spule aufgewendete Energie ist dabei

$$e_1 i_1 \cos \varphi_1 \text{ Watt,}$$

wenn  $\varphi_1$  die Phasendifferenz zwischen der Primärspannung  $e_1$  und dem Primärstrom  $i_1$  ist. An den Klemmen der sekundären Spule sei ein Netz mit parallel geschalteten Glühlampen angeschlossen, welche insgesamt den Strom  $i_2$  verbrauchen. Da in diesem Falle die Belastung des Transformators induktionsfrei ist, so ergibt sich als Nutzleistung desselben  $e_2 i_2$  Watt.

$$\frac{e_2 i_2 \cos \varphi_2}{e_1 i_1 \cos \varphi_1} \text{ ist der Wirkungsgrad des Transformators.}$$

Der Wirkungsgrad guter Transformatoren beträgt bei voller Belastung derselben 0,94 bis 0,97, so daß annähernd auch

$$i_1 : i_2 = n_2 : n_1$$

ist, sofern also  $\varphi_1$  nur klein ist. Hierbei handelt es sich um die effektiven Stärken des primären und sekundären Stromes, die also annähernd den Windungszahlen verkehrt proportional sind.  $n_1 : n_2$  nennt man das Umsetzungsverhältnis.

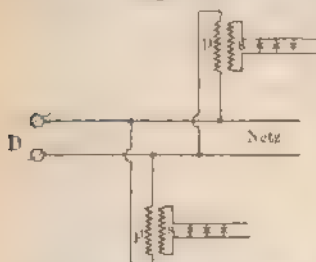
2. Verwendung des Wechselstromtransformators. Der Wechselstromtransformator dient also zur Umformung eines Wechselstromes in einen anderen von höherer oder niedriger Spannung; er verwandelt elektrische Energie in elektrische Energie und ändert dabei nur die Größen der Faktoren: Spannung und Stromstärke, welche die Energie des Stromes bestimmen. Der Wechselstromtransformator hat keine beweglichen, der Ab-

nutzung unterworfenen Teile und zeichnet sich durch große Einfachheit der Konstruktion aus.

Die Wechselstromdynamos eignen sich ihrer Bauart wegen vorzüglich zur Erzeugung hoher Spannungen (1000 Volt, 5000 Volt und mehr). Da für die praktische Verwendung, für den Betrieb elektrischer Lampen diese Spannung zu hoch ist, so wird der hochgespannte Wechselstrom der Dynamo durch Transformatoren in Ströme von niedriger Spannung (10 Volt und weniger) verwandelt. Während dabei

also die Spannung vermindert wird, nimmt bei der Umwandlung die Stromstärke fast in demselben Verhältnisse zu. Die Wechselstromdynamo in Verbindung mit dem Wechselstromtransformator eignet sich daher vorzüglich zur Energieverteilung auf weite Entfernungen, indem die in der Dynamo er-

Fig. 285.



stärksten hochgespannten Ströme bei ihrer geringen Stärke durch Leitungen mit geringem Kupfergewicht auf weite Entfernungen unter nur mäßigen Verlusten fortgeleitet werden, um an der Verbrauchsstelle durch Transformatoren in stärkere Ströme niedriger Spannung verwandelt zu werden. Auch hierbei arbeitet die Wechselstromdynamo auf ein Netz konstanter Spannung (Fig. 285), zwischen dessen beiden Leitern die primären Spulen der Transformatoren parallel geschaltet sind. Soll dabei die hohe Netzspannung in eine kleinere Verbraucherspannung umgewandelt werden, so erhält die primäre Spule zahlreiche Windungen mit kleinem Kupferquerschnitt, während die sekundäre Spule entsprechend dem Umsetzungsverhältnis eine geringere Zahl Windungen mit größerem Kupferquerschnitt hat.

3. Aufbau der Wechselstromtransformatoren. Der Eisenkern der Wechselstromtransformatoren besteht aus dünnen Eisenblechen von etwa 0,3 bis 0,5 mm Dicke. Er wird zum bequemen Aufbringen der beiden Spulen meist aus zwei oder mehreren Teilen hergestellt, die nachher zum geschlossenen Eisenkörper zusammengesetzt werden. Dabei ist sorgfältig darauf zu achten, daß der magnetische Widerstand an den Stoßflächen nicht vergrößert wird, daß überhaupt ein ununterbrochener Pfad für die Kraftlinien im Eisen vorhanden ist. Auf dem Eisenkern befinden sich nebeneinander zwei Spulen, die abwechselnd zur primären und zur sekundären Wickelung dienen. Die Spulen jeder Bewickelung sind in Reihe geschaltet, können aber auch zur Erzeugung sehr kräftiger Ströme in der sekundären Wickelung in Gruppen parallel geschaltet sein. In vielen Fällen liegt die eine Bewickelung über der anderen, wobei beide sehr sorgfältig durch die besten Isoliermaterialien voneinander getrennt sind.

Dem Aufbau nach unterscheiden wir Kern- und Manteltransformatoren. In Fig. 286a ist ein Kerntransformator dargestellt. Über zwei einander gegenüber liegende Seiten des Kernes sind primäre und sekundäre Spulen geschoben. Fig. 286b stellt einen Manteltransformator dar, bei welchem die primäre und die sekundäre Spule fast ganz im Eisenkern eingebettet

Fig. 286a.

Fig. 286b.

Fig. 287.



liegen. Im übrigen kommen zahlreiche Formen des Kernes vor. Fig. 287 stellt den Eisenkörper eines Transformators für Dreiphasenstrom dar. Jeder der drei Kerne trägt eine primäre und eine sekundäre Spule; die drei Eisenkerne sind oben und unten durch ein gemeinsames Joch verbunden.

Wir gehen hier auf die Bauart und Wirkungsweise der Wechselstromtransformatoren nicht weiter ein, da dieselben an Bord keine Verwendung finden. Ausführliches über die Transformatoren siehe in Gisbert Kapp, Transformatoren für Wechselstrom und Drehstrom. Verlag von J. Springer, Berlin, und R. Oldenbourg, München.

## Vierter Abschnitt.

# Galvanische Elemente und Akkumulatoren.

## Neuntes Kapitel.

### Primär- und Sekundär-Elemente.

**§ 77. Verschiedene Arten der Erzeugung des elektrischen Stromes.** Wir unterscheiden mit Bezug auf die technische Verwendung zwei Arten von Stromquellen:

1. Galvanische Elemente. Die einfachste Form derselben ist bereits im § 9 beschrieben. In den Elementen werden zwei Metalle, von denen das eine auch durch Kohle ersetzt werden kann, mit einem Leiter zweiter Klasse in Berührung gebracht. Die E.M.K. und die Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen der beiden Elektroden entsteht in diesem Falle durch die chemischen Prozesse, welche sich zwischen Elektroden und Leiter zweiter Klasse abspielen. In den galvanischen Elementen findet eine Umwandlung von chemischer Energie in elektrische statt.

2. Dynamos, deren Wirkungsweise auf den im vierten Kapitel besprochenen Induktionswirkungen beruht.

Von den Thermoelementen und Thermosäulen können wir ihrer geringen technischen Verwendung wegen ganz absehen.

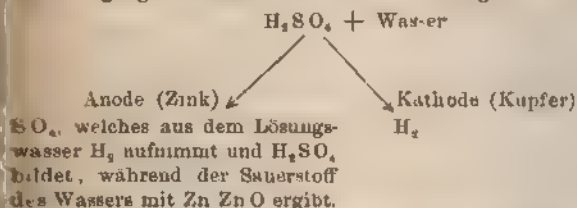
Akkumulatoren oder Sammler dienen zum Aufspeichern elektrischer Energie und werden geladen, wobei die Bleielektroden durch die infolge der Elektrolyse auftretenden Gase Wasserstoff und Sauerstoff eine chemische Umwandlung erfahren.

**§ 78. Das galvanische Element.** Das Element (Fig. 288) ist in seinem Aufbau dem im § 9 beschriebenen Voltaschen Element gleich. Eine reine Zink- und Kupferplatte tauchen in verdünnte Schwefelsäure. Verbindet man die Polklemmen durch einen Schließungsdraht, so fließt der Strom in ihm von der Kupfer (+)-Polklemme nach der Zink (—)-Polklemme. Im Element selbst geht der Strom



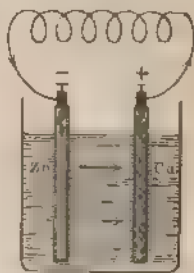
der Zinkelektrode zur Kupferelektrode über, die Kupferelektrode also die Kathode. Die Fällung des Elementes ist ein Elektrolyt, durch den elektrischen Strom zersetzt wird (vergl. § 10). Dabei der Sauerstoff an die Zinkelektrode und bildet Zinkoxyd,  $\text{ZnO}$ , sich unter der Einwirkung der verdünnten Schwefelsäure weiter schwefelsaurem Zink,  $\text{ZnSO}_4$ , umbildet. Der Wasserstoff tritt an Kupferelektrode und entweicht als Gas.

Der Vorgang im Elemente ist durch das folgende Schema dargestellt:



Nachdem das Element (Fig. 288) zusammengesetzt ist, fließt zuerst kräftiger Strom im Schließungskreis, was besonders hervortritt, wenn man z. B. durch einen kurzen Platindraht die Polklemmen verbindet; der Draht zum Glühen erhitzt. Aber man findet, das Glühen schnell abnimmt und zuletzt aufhört, d. h. das der Strom schwächer wird. Der Grund hierfür liegt in der im Element auftretenden Polarisation, d. h. einer Strommotorischen Kraft, die der ursprünglichen entgegenwirkt und diese teilweise oder ganz aufhebt. Das Element ist ein instantes, d. h. die E. M. K. nimmt mit wachsender Stromstärke ab.

Fig. 288.



Die Abnahme der Stromstärke erfolgt im allgemeinen um so schneller, je mehr der äußere Widerstand ist. Auf der Kupferelektrode bildet sich eine Wasserstoffschicht, die zusammen mit der Zinkelektrode ein Element bildet, das einen dem Zinkkupferelemente entgegengesetzten Strom zu suchen sucht. Man nennt Elektroden, die infolge der Elektrolyse mit Gas bedeckt sind, polarisiert. In unserem Falle bildet die polarisierte Kupferelektrode mit dem Zink eine Gegen-E. M. K., welche die ursprüngliche E. M. K. fastlich bis auf einen kleinen Rest aufhebt.

Reinigt man die Cu-Elektrode von der Wasserstoffschicht, so gibt das Element nach dem Zusammensetzen sogleich einen kräftigen Strom, der aber so schnell wie früher an Stärke abnimmt.

**§ 79. Konstante Elemente.** Das Auftreten der elektromotorischen Gegenkraft kann dadurch verhindert werden, daß die Entzettelung von freiem Wasserstoff an der Kupferelektrode verhindert wird. Bei den sogenannten konstanten Elementen wird dieses dadurch erreicht, daß man jede der Elektroden in eine besondere Flüssigkeit

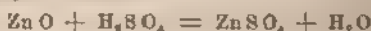
taucht oder auch eine einzige Flüssigkeit anwendet, in welcher der Wasserstoff im Augenblick des Entstehens durch den vorhandenen Sauerstoff oxydirt wird, also in Wasser übergeht. Bei den konstanten Elementen mit zwei Flüssigkeiten werden die letzteren entweder durch eine poröse Scheidewand (Tonzelle) voneinander getrennt, oder die Vermischung der Flüssigkeiten wird dadurch verhindert, daß man sie entsprechend der Größe ihrer spezifischen Gewichte übereinander schichtet. Wegen der Diffusion ist freilich eine andauernde Trennung beider Flüssigkeiten nicht zu erreichen.

Als Anode verwendet man in den meisten Fällen amalgamirtes Zink. Das nicht amalgamirte Zink würde auch bei nicht geschlossenem Stromkreise von der verdünnten Schwefelsäure angegriffen, und bei geschlossenem Stromkreise ist bei nicht amalgamirter Zinkelektrode der Zinkverbrauch erheblich höher, als er durch die Stromstärke des Elementes allein bedingt ist. Um das Zink zu amalgamieren, wird es mit verdünnter Schwefelsäure gereinigt, und dann wird auf die gereinigte Elektrode mit einer Bürste Quecksilber aufgetragen.

1. Das Daniell'sche Element (Fig. 289). Das amalgamirte Zink taucht in verdünnte Schwefelsäure oder Zinkvitriollösung, mit der die poröse Tonzelle gefüllt ist. Außerhalb der letzteren befindet sich konzentrierte Kupfervitriollösung, in welche ein cylindrisch gebogenes Kupferblech taucht. *m* und *p* sind die an die beiden Elektroden gelöteten Kupferstreifen, an denen die Polklemmen des Elementes befestigt werden.

Die chemischen Vorgänge im Elemente sind folgende:

An der positiven Elektrode (Zink) wird Sauerstoff O ausgeschieden, und es bildet sich Zinkoxyd, das weiter



bildet.

An der negativen Elektrode (Kupfer) wird Wasserstoff H<sub>2</sub> entwickelt, und es bildet sich



d. h. metallisches Kupfer schlägt sich auf der Kupferelektrode nieder. Beim Daniell'schen Element und bei den Abänderungen desselben wird also der Strom durch den Verbrauch von Zink hervorgebracht, wobei sich Zinkoxyd bildet. Die Masse der Kupferelektrode wird außerdem durch das ausgeschiedene Kupfer während des Gebrauches des Elementes vergrößert. Demnach nimmt der Konzentrationsgrad der CuSO<sub>4</sub>-Lösung ab. Dadurch ändern sich die E.M.K. des Elementes und der innere Widerstand. Die poröse Tonzelle wird auch im Laufe der Zeit mit Kupferausfällung durchsetzt, wodurch ebenfalls eine Vergrößerung des inneren Widerstandes herbeigeführt wird.

Der innere Widerstand hängt im übrigen von der Größe des Elementes ab, er beträgt bei den Elementen gebräuchlicher Größe meist 0,3 bis 0,6 Ω; dagegen ist die E.M.K. allein durch den chemischen Prozeß im Element bestimmt und also von der Größe des Elementes ganz unabhängig. Die E.M.K. des Daniell'schen Elementes beträgt etwa 1,07 Volt.

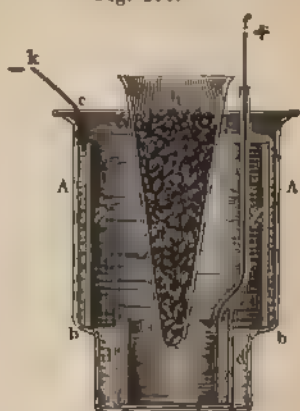


Als Modifikation des Daniellschen Elementes sei das Meidinger'sche Element (Fig. 290) hervorgehoben, bei dem die Tonzelle nicht werden kann. Der Zinkcylinder steht auf dem Vorsprung eines unten verengenden Glasgefäßes *A*. Der kurze Cylinder *c* aus Kupfer steht in einem kleinen Gefäße *dd* am Boden des Gefäßes *A*. Von

Fig. 289.



Fig. 290.



*e* führt ein mit Guttapercha isolierter Kupferdraht nach *f*. Das Gefäß *A* wird mit einer Lösung von Bittersalz,  $MgSO_4$ , gefüllt. Vom Deckel des Gefäßes *A* hängt ein Glastrichter herab, der mit Stücken von Kupfervitriolkristallen gefüllt ist, und in dessen untere Öffnung ein kurzes Glasrohr mittels eines Korkes eingesetzt ist. Die Mündung des Glasrohres befindet sich in dem Raume des Glases *dd*. Wegen ihres größeren spezifischen Gewichtes diffundiert die Lösung des Kupfervitriols langsam in die Bittersalzlösung und kommt mit der Kupferelektrode in Berührung. Wegen des großen Abstandes zwischen den beiden Elektroden ist der innere Widerstand des Elementes verhältnismäßig groß, er beträgt bei den Elementen mittlerer Größe 8 bis 9  $\Omega$ . Die E.M.K. ist konstant und etwa 1 Volt. Diese Elemente können mehrere Monate im Betriebe sein, ohne daß ein Nachfüllen erforderlich wird; sie dienen insbesondere zur Stromlieferung für Telegraphenlinien.

Fig. 291.



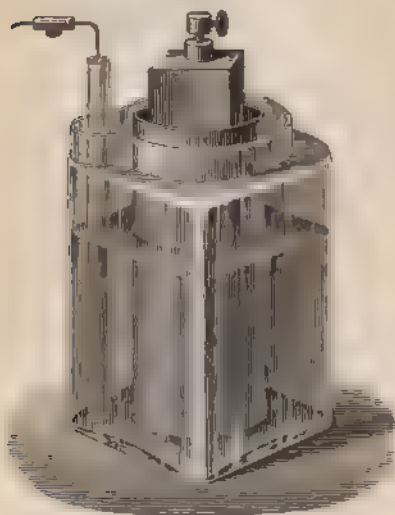
Von den zahlreichen anderen konstanten Elementen, deren Anwendung des ausgedehnten Gebrauches der Akkumulatoren immer geringer

wird, sei nur noch das Bunsensche Element (Fig. 291) hervorzuheben. Als Kathode dient ein Stab aus Gasretortenkohle, welcher in die mit konzentrierter Salpetersäure gefüllte Tonzelle taucht. Als Anode wird ein aus amalgamirtem Zinkblech in verdünnter Schwefelsäure getauchtes Element verwendet. Die E.M.K. des Elementes ist etwa 1,8 bis 1,9 Volt; der innere Widerstand mittlerer Größe meistens 0,1 bis 0,2  $\Omega$ . Beim Gebrauche dieser Elemente sind die sich entwickelnden Dämpfe von Stickstoffdioxid den Menschenorganen sehr schädlich, sie greifen auch alle Metallgegenstände an. Die Aufstellung der Elemente kann nur in einem mit Abzug versehenen Räume geschehen.

§ 80. Das Element von Leclanché. Trockenelemente. Leclanché-Elemente gehören zu den inkonstanten Elementen, sie sind besonders in den Fällen, wo es auf kurz andauernde, kräftige Ströme ankommt, wie bei dem Betriebe elektrischer Maschinen und Tableaus, sehr zu empfehlen.

Das Element von Leclanché. Bei der älteren Konstruktion (Fig. 292) wird eine Kohleplatte in eine mit Braunstein und Salpeterpulver gefüllte Tonzelle taucht. Die Braunsteinmasse soll die Elektrode halten. Als Anode dient ein Zinkblech, welches als Füllung Salmiaklösung enthält.

Fig. 292.



Neuerdings presst man die Kohle zu einem massiven Zylinder, der mit dem verdickten Ende fest im Glase des Elementes steht. Mit dem Rand des Gefäßes greifenden Zylinderstreifen hängt der Zylinderblech. Die Wirkung des Elements beruht auf dem oxydierenden des Mangansuperoxyds, wodurch die Polarisation durch Wasserstoff unschädlich wird.

Trockenelemente sind meistens Leclanché-Elemente, denen die Elektroden in einer Salmiaklösung getaucht werden. Die Füllmasse steht. Damit sie möglichst lange gebrauchsfähig bleiben, soll die Füllmasse so gewählt sein, daß sie auf längere Zeit ihre Feuchtigkeit behält. Sehr brauchbar sind die von der Firma Siemens und Halske nach dem Hellsen hergestellten Elemente, ebenso das Hydra-Element von König und König in Berlin und viele andere mehr. Für den Betrieb der Telegraphen und Wecker an Bord kommen nur die Trockenelemente zur Anwendung.

§ 81. Der Akkumulator oder Sammler. Die in § 78 beschriebenen Elemente heißen auch Primärelemente; bei der Konstruktion wird die Wirkung der Polarisation möglichst vermieden.

§ 81. Der Akkumulator oder Sammler. Die in § 78 beschriebenen Elemente heißen auch Primärelemente; bei der Konstruktion wird die Wirkung der Polarisation möglichst vermieden.

igen gesucht. Dagegen wird in den Akkumulatoren — den spannten Sekundärelementen — gerade die Polarisation zur Liefrierung benutzt.

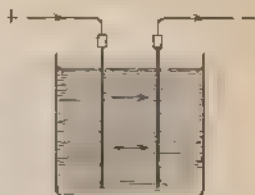
Stellt man zwei Bleiplatten (Fig. 293) als Elektroden in verdünnte Schwefelsäure, durch die ein kräftiger Strom (Ladestrom) fließt, so wird die Schwefelsäure zersetzt und an der dem positiven Pol der Stromquelle verbundenen Bleiplatte — der Anode — entwickelt sich Sauerstoff, welcher das Blei zu Bleisuperoxyd oxydiert. Die Kathode bedeckt sich mit Wasserstoff, welcher die Bleiplatte, in die oxydiert war, zu reinem Blei reduziert, sonst aber als Gas entweicht. Infolge der Elektrolyse tritt eine elektromotorische Kraft auf, die der E.M.K. der ladenden Stromquelle entgegenwirkt. Nachdem der Ladestrom einige Zeit gewirkt hat, ist die Anode mit einer braunen Schicht von Bleisuperoxyd bedeckt, während die Kathode aus reinem Blei besteht. Unterbricht man jetzt den Ladestrom, und verbindet man unter Einschaltung eines Amperemeters mit einem passend gewählten Widerstand die beiden Elektroden miteinander, so bilden die letzteren die Pole eines Elementes, und zwar ist der positive Pol derjenige, welcher während der Ladung mit dem positiven Pole der den Ladestrom liefernden Stromquelle verbunden war. Während der Entladung fließt durch das Element ein Strom in entgegengesetzter Richtung wie bei der Ladung, damit geht auch während der Entladung im Element der umgekehrte chemische Prozess vor sich wie bei der Ladung.

Die während der Ladung mit Bleisuperoxyd bedeckte und mit dem positiven Pol der ladenden Stromquelle verbundene Elektrode wollen wir als positive (+) Elektrode bezeichnen.

Während der Entladung bildet sich an der positiven Elektrode Wasserstoff, durch welchen das Bleisuperoxyd reduziert wird, während die negative Elektrode oxydiert. Bei der einfachen Anordnung (Fig. 294), durch welche die Wirkungsweise des Akkumulators erläutert werden soll, nimmt die Stärke des Entladestromes schnell ab und wird Null, wenn beide Bleiplatten in den Anfangszustand erreicht haben.

Alle bis jetzt praktisch bewährten Sammler enthalten Bleielektroden, die in verdünnte Schwefelsäure tauchen. Planté stellte seinen ersten Akkumulator aus zwei in geringem Abstände voneinander aufgewickelten Bleiplatten her. Durch abwechselndes Laden und Entladen mit starken Strömen, wobei auch zeitweise der Ladestrom in entgegengesetzter Richtung durch den Akkumulator gesandt wurde, erhielt er an der negativen Elektrode eine dünne Schicht von lockerem Bleisamm, während die positive Elektrode mit Bleisuperoxyd bedeckt wurde. Zu diesem Formieren der Platten gehört ein großer

Fig. 293.



Aufwand von elektrischer Energie und von Zeit. Geeigneter daher das Verfahren von Faure, Sellon und Volkmar, bei Gitterplatten zur Verwendung kamen, die von vornherein durch den Formierungsprozeß erzeugten aktiven Massen wurden. Die Gitterplatten haben an der Oberfläche regelmäßig Rippen oder Vertiefungen, die zum Festhalten der aktiven Masse. Als letztere wurde für die positiven Elektroden Bleisuperoxyd, negativen Bleiglätte verwendet. Die Formierung solcher Gitter kann erheblich schneller ausgeführt werden, jedoch ist die Lebensdauer der Platten nur gering, weil während des Gebrauchs die aktive leicht und bald herausfällt, wodurch die Leistungsfähigkeit des Akkumulators abnimmt.

Wesentlich vervollkommen wurden die Akkumulatoren im Jahr 1882 durch Tudor, indem die Bleiplatten zunächst nach dem Verfahren von Planté einige Wochen hindurch formiert wurden. Es ergibt sich eine fest haftende Schicht von Bleisuperoxyd, auf die Mennige gestrichen wird. Bei der weiteren Formierung wird die Mennige in kurzer Zeit in Bleisuperoxyd übergeführt. Auf diese Weise es gelungen, Akkumulatoren von großer Haltbarkeit durch einen Formierungsprozeß zu erhalten, der wesentlich kürzer ist als das Plantésche Verfahren.

Neuerdings ist es gelungen, Platten mit sehr großer Oberfläche herzustellen und diese Platten nach dem Plantéschen Verfahren in kurzer Zeit mit einer ausreichenden Schicht von Bleisuperoxyd zu bedecken. Damit kann das Einpressen einer aktiven Masse auf die Platte ganz vermieden werden.

Fig. 294 zeigt ein Stück der sogenannten Großoberflächenplatte, als positive Elektrode in den Akkumulatoren der Berliner Akkumulator- und Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, zur Anwendung.

Fig. 294.

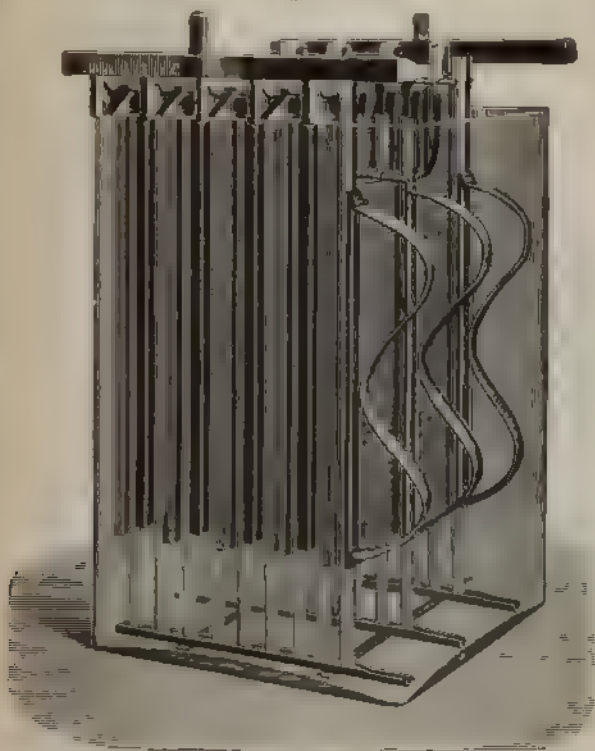


Der Kern der Elektrode hat Zickzackform, und es sind nach beiden Seiten hin in geringen Abständen nebeneinander dreieckige Lamellen angebracht.

abe an der Spitze einer Zacke zusammenhängen, dagegen ist an der dieser  
 ze auf der anderen Seite der Platte gegenüberliegenden tiefsten Stelle  
 Nute vorgesehen, so daß jede Lamelle sich nach allen Richtungen frei  
 dehnen kann. Fig. 296 zeigt die gebräuchliche Plattenform.

Fig. 295 stellt einen fertig montierten Akkumulator der Berliner  
 Akkumulatoren- und Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, dar. Die  
 der Platten ist ungerade; abwechselnd negative und positive Platten

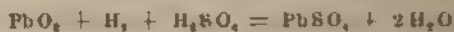
Fig. 295.



vertikal aufgestellt und die äußeren Platten sind negative. Die posi-  
 und die negativen Platten sind unter sich durch Bleileisten verbunden.  
 angegossenen Fahren der Platten ruhen auf dem Glasrande. Der Ab-  
 der Platten untereinander wird durch zwischen dieselben geschobene  
 ftabe gesichert. Die drei Spangen aus Blei in dem rechten Teile des  
 fasses füllen den Raum aus, der zum Einsetzen neuer Platten verwendet  
 e, wenn die Kapazität des Akkumulators infolge einer Steigerung des  
 ombedarfes vergrößert werden muß.

An der positiven Elektrode des geladenen Akkumulators haben  
 Bleisuperoxyd,  $PbO_2$ , an der negativen dagegen Bleischwamm,  $Pb$ .  
 positiven Elektroden haben dunkelbraune Farbe, die negativen  
 graues Aussehen. Die Klemmenspannung des geladenen Akku-  
 lators beträgt etwa 2,05 bis 2,1 Volt.

Während der Entladung ist der Vorgang an der  $+$ -Elektrode der folgende:



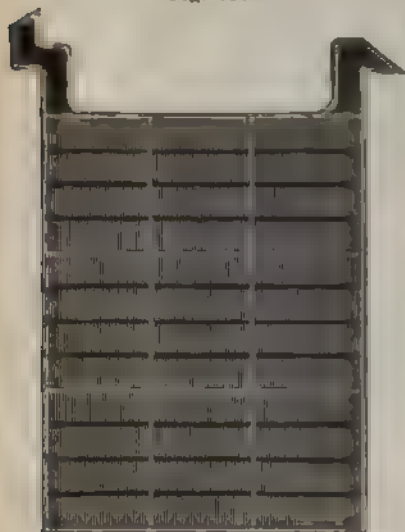
und an der  $-$ -Elektrode



Infolge der Entladung bildet sich also an beiden Platten schwefelsaures Blei ( $\text{PbSO}_4$ ) und Wasser.

Während der Entladung wird die Schwefelsäure gebunden, so durch das spezifische Gewicht der Säure von dem Anfangswerte 1,167 auf 1,145 gegen Ende der Entladung abnimmt. Demnach kann man

Fig. 290



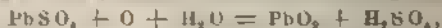
aus dem Eintauchen eines zwischen den Elektroden schwimmenden Aräometers auf den Entladungszustand schließen. Dazu nimmt während der Entladung die Klemmenspannung des Akkumulators langsam an der weiteren Bildung von  $\text{PbSO}_4$  ab. Würde man die Entladung so weit treiben, bis die obersten Schichten der Elektroden ganz in  $\text{PbSO}_4$  verwandelt wären, so würden die Elektroden chemisch einander gleich sein, und die Klemmenspannung wäre Null geworden. In der Praxis darf die Entladung niemals so weit geführt werden, sondern muß vielmehr unterbrochen werden, nachdem die Klemmenspannung der Zelle

auf 1,8 Volt gesunken ist. Ist dieser Betrag erreicht, so muß der Akkumulator von neuem geladen werden, wenngleich noch eine rechtliche Menge elektrischer Energie in ihm enthalten ist.

Beim Laden muß, wie früher bereits hervorgehoben, die positive Polklemme des Akkumulators mit der positiven Polklemme der ladenden Dynamo verbunden werden.

Bei der Ladung fließt der Strom durch die verdünnte  $\text{H}_2\text{SO}_4$  von der positiven Elektrode zur negativen. An der ersteren wird Sauerstoff  $\text{O}$ , an der letzteren Wasserstoff  $\text{H}$  abgeschieden.

Der Vorgang an der positiven Elektrode kann dargestellt werden durch



und an der negativen Elektrode:



Während der Ladung nimmt wegen der Bildung der Schwefelsäure die Dichte der verdünnten Säure zu. Sobald die Ladung ihren



Ende entgegengeht, werden nicht mehr alle entwickelten Gase H und O zur chemischen Umwandlung der Oberflächenschichten gebraucht, es tritt die Gasentwicklung, das sogenannte Kochen, des Akkumulators ein.

Die Stärke des maximalen Entladestromes, wie auch die des maximalen Ladestromes, richtet sich nach der Größe der Plattenoberfläche und nach der Zahl und Konstruktion der Platten des Akkumulators. Ein Überschreiten der maximalen Lade- und Entladestromstärke soll möglichst im Betriebe vermieden werden; beide sind für jede Größe des Akkumulators vorgeschrieben.

In den meisten Fällen, und fast ausschließlich in Beleuchtungsanlagen, wird der Akkumulator mit fast konstanter Stromstärke geladen, die meist etwas kleiner als die normale Entladestromstärke ist. Bei der Ladung steigt die Klemmenspannung sehr schnell von 2 Volt auf 2,15 Volt und dann langsam auf 2,2 Volt. Gegen Ende der Ladung erfolgt ein rasches Ansteigen von 2,2 Volt auf 2,6 Volt.

Für die Spannung (110 Volt oder 220 Volt) beim elektrischen Lichtbetrieb werden Akkumulatoren in größerer Zahl (62 bzw. 124 Zellen) hintereinander geschaltet. Die Verbindung der positiven Elektroden der einen Zelle mit den negativen der folgenden geschieht durch Verlöten der Bleilamellen oder -leisten, an denen die zusammengehörigen Elektroden in jeder Zelle befestigt sind. Das Verlöten muß im Wasserstoffgebläse vorgenommen werden.

Unter der Kapazität des Akkumulators versteht man das Produkt aus der maximalen Entladestromstärke in die Entladedauer. Ein Akkumulator, der während vier Stunden den Strom 80 Amp. liefern kann, hat demnach die Kapazität  $4 \cdot 80 = 320$  Ampèrestunden. Derselbe Akkumulator würde acht Stunden lang den konstanten Strom 40 Amp. liefern können. Die von der Zelle bei der Ladung aufgenommene Elektrizitätsmenge ist stets größer als die bei der Entladung abgegebene, da die bei der Ladung während des „Kochens“ entweichenden Gase nicht zur Aufspeicherung von Energie im Akkumulator beitragen. Das Verhältnis der letzteren zur ersteren bezeichnet man als den Wirkungsgrad in Bezug auf Ampèrestunden. Je nach der Ausführung der Ladung beträgt dieser Wirkungsgrad 0,915 bis 0,94.

Ist  $E$  die Gegen-E.M.K. des Akkumulators bei der Ladung,  $w$  der Widerstand des Akkumulators einschließlich des Widerstandes der von der ladenden Dynamo nach dem Akkumulator führenden Leitungen, so muß bei der Stärke  $i$  des Ladestromes die Polklemmenspannung der Dynamo

$$E_1 = E + iw$$

sein. Die Gegen-E.M.K. des Akkumulators  $E$  steigt im Laufe der Ladung an, also muß auch  $E_1$  zur Erhaltung der Stromstärke erhöht werden. Während der Entladung mit der Stromstärke  $i$  ist dagegen die Klemmenspannung  $E_2$  des Akkumulators



$$E_2 = E - i r.$$

Also muß die mittlere Ladespannung etwa um den doppelten Betrag des Spannungsverlustes im Akkumulator größer sein als die mittlere Entladespannung. Demnach ist der Wirkungsgrad des Akkumulators in bezug auf Leistung nur 0,75, d. h. von den während der Ladung aufgewendeten Wattstunden werden bei der Entladung nur 75 Proz. wieder zurück erhalten.

Zahl der Zellen. Soll die Betriebsspannung 110 Volt betragen, so sind  $\frac{110}{1,8} = 62$  Zellen in Reihenschaltung erforderlich. Solange die Spannung jeder Zelle noch nicht auf den Grenzwert 1,8 gesunken ist, muß zur Erhaltung der konstanten Spannung, wie es für den Betrieb parallel geschalteter Lampen gefordert wird, die Zahl der eingeschalteten Zellen kleiner sein. Soll der Akkumulator während der Ladung und Entladung Lampen bei konstanter Spannung speisen, so muß mit dem Zellenschalter (vergl. § 84), je nach dem Spannungszustand der Zellen, die Zahl der zur Stromlieferung herangezogenen Zellen verändert werden. Während der Ladung sind dabei Zellen nacheinander auszuschalten, und wenn gegen Ende der Ladung die Spannung der Zelle auf 2,6 gestiegen ist, sind zum Betriebe der Lampen bei 110 Volt nur noch  $\frac{110}{2,6} = 42$  Zellen in Reihenschaltung erforderlich.

§ 82. Beschreibung einiger Akkumulatoren. 1. Transportable Akkumulatoren der Berliner Akkumulatoren- und Elektrizitätsgesellschaft Dr. Lehmann u. Mann. Um bei Akkumulatoren

Fig. 297.

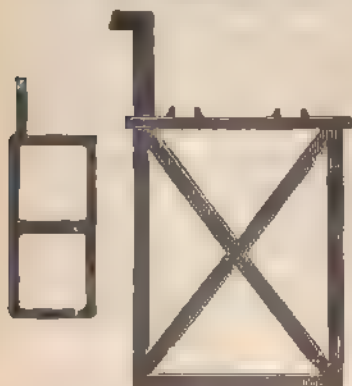
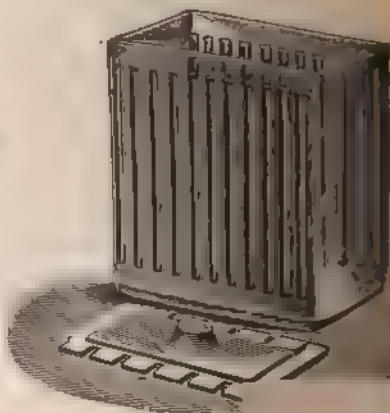


Fig. 298.



für transportable Zwecke ein möglichst geringes Plattengewicht zu haben liegt das Bestreben nahe, die aktive Masse möglichst zu vergrößern und



Bleigewicht zu verringern. Dies wird durch Anwendung nur eines Hartblei-rahmens von  - oder  -förmigem Querschnitt erreicht, der vollständig mit aktiver Masse ausgefüllt wird (Fig. 297). Die Rahmen mit größeren Dimensionen werden durch Querstege oder Kreuze von gleicher Querschnittsform verstärkt. Das Ausfüllen des Rahmens mit aktiver Masse wird einerseits durch die Anwendung eines besonderen Partverfahrens, andererseits durch Vermischung der Masse mit organischen flüssigen Kohlenwasserstoffverbindungen bewirkt, welche im Laufe der Fabrikation mit den Bleioxyden gut leitende basische Bleiverbindungen bilden, die, weil in der aktiven Masse erzeugt, in dieser fein und netzartig verteilt sind und derselben deshalb eine außerordentliche Festigkeit und Leitungsfähigkeit erteilen. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt stellte fest, daß diese Akkumulatoren eine konstant bleibende Kapazität von 74,7 Amperestunden pro 1 kg der positiven Elektrode liefern. Die Gefäße zur Aufnahme der Platten bestehen aus Glas (Fig. 298), Hartgummi oder Celluloid und sind im allgemeinen innen mit

Fig. 299.

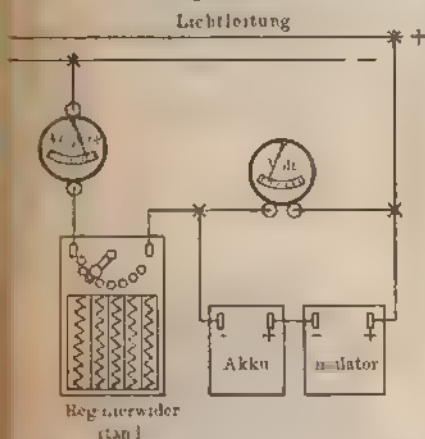
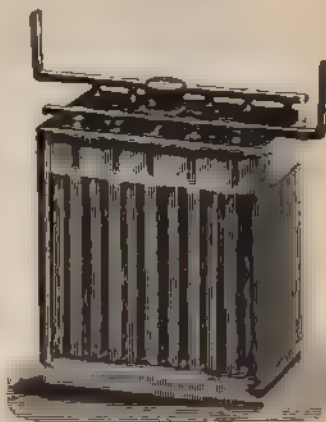


Fig. 300.



Nuten bzw. Rippen versehen, wodurch die eingestellten Platten in gleichmäßiger Entfernung gehalten werden. Die Zellen werden mit passenden Deckeln verschlossen und mit Vergußmasse abgedichtet. Zur Nachladung von Säure bzw. zum Abzug der Gase sind die Deckel noch mit einer Öffnung versehen, die bei den Glasgefäßen durch einen durchbohrten Weichgummipfropfen verschlossen wird. Die Zellen werden zu mehreren in Serienschaltung in einem Holzkasten eingebaut, wodurch der Transport erleichtert wird. Auch können diese Akkumulatoren mit sogen. Trockenfüllung geliefert werden, wodurch das durch Erschütterungen verursachte Herausspritzen der Säure gänzlich ausgeschlossen wird. Hierbei wird eine weiche, gelatinöse Füllung oder auch solche aus hygroskopischer Masse verwendet.

In Fig. 299 ist das Schaltungschema für die Ladung von zwei Zellen durch Anschluß an eine vorhandene Lichtleitung dargestellt. Letztere ist beendet, wenn in jeder Zelle die Gasentwicklung eingetreten ist, und die Spannung 2,6 Volt beträgt.

Fig. 300 zeigt eine fertig montierte Zelle mit Glasgefäß.

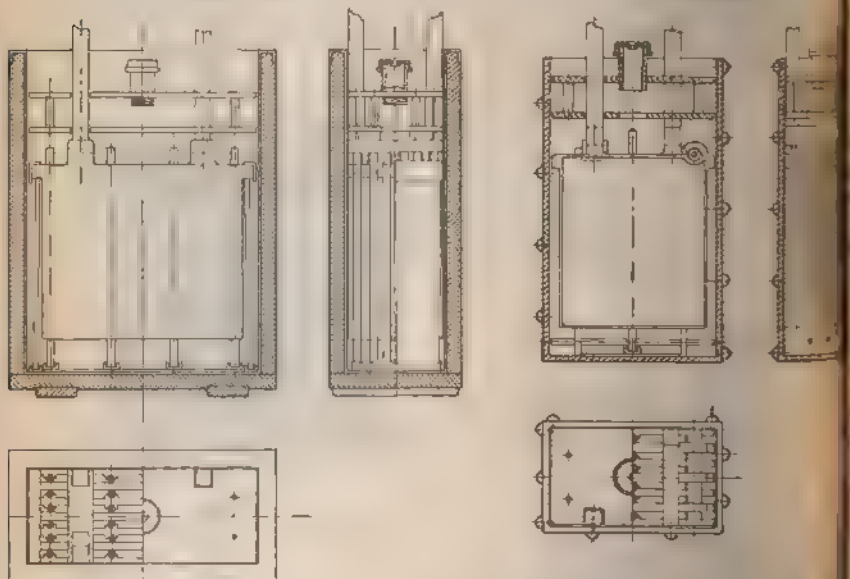
2. Akkumulatoren der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft Berlin N.W. Fabrik Hagen i. W. Zur Anwendung für die Notbeleuchtung, den Betrieb der Telephone und Telegraphen, sowie für die

Funkentelegraphie auf Kriegs- und Handelschiffen kommen zwei Typen, die sich lediglich durch die Art der Aufstellung unterscheidenden. In den Elementen B O. 80, deren Aufstellung in Fig. 301 dargestellt ist, ruhen die Platten auf seitlichen Glasstützscheiben und zur Isolation der Platten voneinander sind Glasrohre verwendet. Glasstützscheiben und Glasrohre ruhen auf dem Boden in besonderen Bleirinnen. In den Elementen Type G O. 3 stehen die negativen (Fig. 302) Platten auf kammartigen Hartgummikammern.

Die positiven Platten ruhen mittels eines starken Glasrohres, das den entsprechenden Ösen der Platten gesteckt ist, auf zugehörigen Aussparungen der negativen Platten. Die Zinken der Hartgummikammer bilden die notwendige Trennung zwischen den Plattenarten. Die Elemente sind mit leicht abnehmbaren Doppeldeckeln verschlossen. Die positive Platte hat Kupper-

Fig. 301.

Fig. 302.



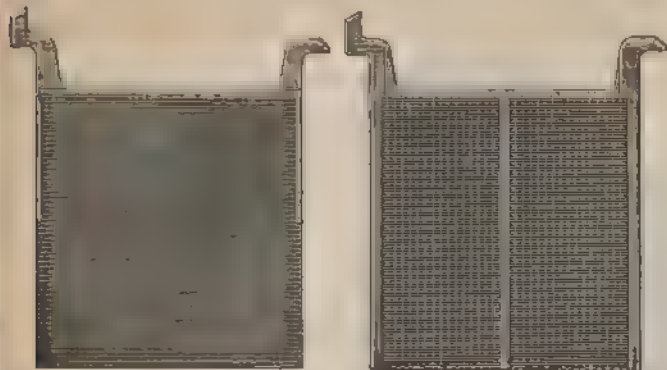
form und besteht aus reinem Weichblei, die negative Platte ist ein Bleigitter, in welches die aktive Masse eingestrichen wird (Fig. 303).

Bei Aufstellung in Holzkästen mit Bleiausschlag haben die Elemente beider Typen T-förmige Schutzleisten aus Hartgummi auf den gegenüberliegenden Gefäßwand vorspringenden Nasen der Platten, um zu verhindern, daß dieselben mit dem Bleianteil des Gefäßes in Berührung kommen. Eine solche Berührung würde einen Kurzschluss im Elemente verursachen. Die Höhe der Elemente ist so bemessen, daß sie eine Neigung bis zu 45° halten können, ohne daß die Flüssigkeit ausläuft. Die in Hartgummigefäßen aufgestellten Elemente sind zu mehreren in einem Holzkasten eingemitt, der außen mit Ösen versehen ist. In diese Ösen passen Stopfen für kleinen flexiblen Verbindungskabeln, die dazu dienen, die in den Kästen eingemitteten Gruppen von Zellen miteinander zu verbinden.

Zwischen den Elementen in Holzgefäßen mit Bleiausschlag oder auch in den Elementenkästen, welche mehrere Zellen in Ebonitgefäßen enthalten

an kleine Porzellanisolatoren angeordnet, welche die einzelnen Kästen voneinander trennen. Ebenso werden die Kästen von dem Boden durch

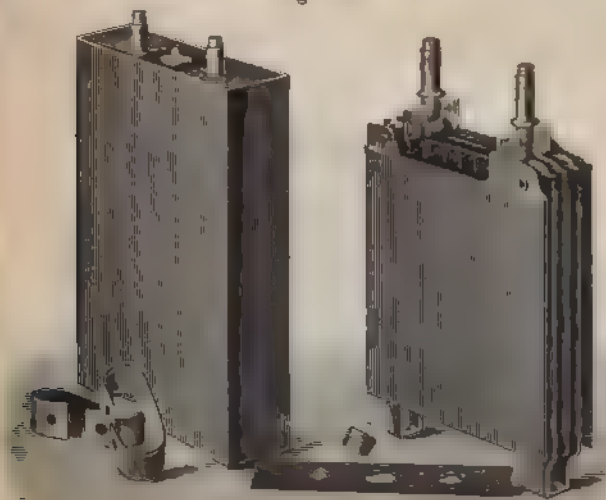
Fig. 303.



Porzellanisolatoren isoliert. Diese Isolatoren sind 10 mm stark, und ist demnach ein Zwischenraum zwischen den einzelnen Elementen von 10 mm zu setzen.

Die Elemente müssen in den ventilierbaren Batterieräumen fest verkeilt gestellt werden. Der Boden erhält zweckmäßig einen Belag aus Walzblei.

Fig. 304.



Walzblei ist am Ende umgebogen und bedeckt bis etwa 100 mm die Seitenwände. Die Seitenwände sind mit einem säurebeständigen Anstrich, z. B. Heisinglack, versehen. Die Batteriekästen werden in einem Gestell aufgestellt und sind von diesem durch die oben erwähnten Porzellanisolatoren getrennt. Seitlich müssen die Elementkästen durch starke Holzleisten

so festgehalten werden, daß ein Verrutschen der Kästen beim Schütteln des Schiffes ausgeschlossen ist.

3. Von den verschiedenen praktischen Ausführungen wollen wir hier ein Beispiel die Konstruktion der Schiffszellen näher beschreiben, welche den Akkumulatorenwerken System Pollak, Aktiengesellschaft, Frankfurt a. M., her stammt.

Je nach der Beanspruchung werden positive Pollak- oder Platten und negative Pollak-Platten benutzt, welche aus einem Blei

Fig. 305.



mit einer darauf elektrolytisch niederschlagenen Bleischwammsschicht bestehen. Die Platten werden in Glas oder Hartgummi gefaßt und montiert, welche man gewöhnlich gruppenweise in tragbaren Holzkaften einbaut.

Die Abbildung (Fig. 304) zeigt einen fertigen Plattensatz und eine komplette Zelle „E 2“ dieser Fabrik. Die positiven Platten stehen auf dem Boden des Gefäßes auf, die negativen Platten werden durch Vermittelung kräftiger Stützen in die entsprechenden maschinell hergestellten Abstände zwischen den positiven Platten eingefügt. Die kräftigen Querstreifen und Bleibolzen dienen zur Verbindung der gleichnamigen Elektroden untereinander, bezw. zur Ableitung des Stromes.

Zur Trennung der Platten voneinander dienen perforierte Rippenplatten aus Hartgummi (D. R.-G.-M. Nr. 64632). Fig. 305, wie sich solche bei den transportablen Zellen im allgemeinen verhalten. Der Plattensatz ist so eingerichtet, daß er, außerhalb des Gefäßes fertig zusammengebaut und dann als ein Ganzes eingesetzt werden kann.

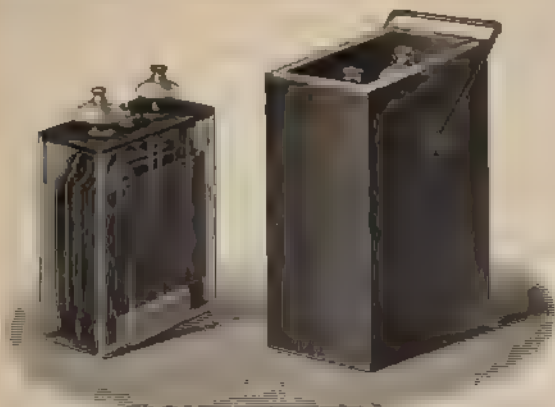
Fig. 306.



Zum Abschluß der Gefäße werden Hartgummideckel verwendet, welche mit einer plastischen und säurefesten Masse dicht verschlossen werden. In der Mitte des Deckels befindet sich eine runde Öffnung, durch welche man den Zustand der Platten und die Nachfüllflüssigkeit beobachten kann. Diese Öffnung bleibt aber diese Öffnung durch einen Stopfen mit Entgaserventil verschlossen. Die Verbindung der Zellen untereinander geschieht durch biegsame Bleistreifen.

Fig. 306 zeigt einen fertigen tragbaren Batteriekasten mit vier Zellen, 5" (120 Amperestunden Kapazität bei 12 Amp. Entladestrom), wie solche die Wellentelegraphie auf Schiffen benutzt werden.

Fig. 307.



Die Fig. 307 zeigt eine Glaszelle mit dem zugehörigen tragbaren Holzkasten. Diese Zellen werden für den Betrieb von Mikrophon- und Signalapparaten, sowie für Notbeleuchtungsanlagen benutzt.

### § 83. Behandlung und Wartung der Akkumulatoren.

Ein Akkumulator soll, nachdem die Entladung erfolgt und die Spannung der Zelle auf 1,8 Volt gesunken ist, möglichst sofort wieder geladen werden, keinesfalls im entladenen Zustande mehrere Tage stehen lassen. Die höchste Entladestromstärke darf, außer in dringenden Fällen, nicht überschritten werden, da ein dauerndes Überschreiten der höchsten zulässigen Stromstärke ein Durchbiegen der Elektroden und damit eine vorzeitige Zerstörung der Zellen zur Folge hat. Ebenso soll während der Ladung die höchste und für jede Zellenklasse vorgeschriebene Stromstärke nicht überschritten werden. Gegen Ende der Ladung muß in allen Zellen Gasentwicklung eintreten; überbleibt dieselbe in einer der Zellen, so ist die Zelle sorgfältig zu untersuchen und etwaige Körper, welche eine leitende Verbindung zwischen den Platten (Kurzschluss) bilden, sind mittels schmaler Holzstäbe herauszuholen oder niederzustoßen.

In allen Fällen äußert sich der Kurzschluss dadurch, daß das beaufschlagte Element nicht gleichzeitig mit den übrigen zur Gasentwicklung kommt, und die Säure ein entsprechend geringeres spezifisches Gewicht hat. Ein Kurzschluss kann entstehen

1. durch direkte Berührung zweier benachbarter Platten;
2. durch stromleitende Stoffe, Bleischlamm, Bleioxyd, die sich zwischen den Platten festsetzen,
3. durch direkte oder indirekte Berührung der Platten mit dem Bleimantel des Holzkastens.



Bei größeren Störungen muß die Zelle sofort aus dem Verband mit den übrigen gelöst und sorgfältig ausgebessert werden, ehe sie wieder eingeschaltet wird. Zum Untersuchen der Zellen eignet sich besonders eine Glühlampe mit gutem Reflektor, womit man die Zelle von oben bis auf den Grund durchleuchten kann. Bei Glasgefäßen ist die Besichtigung leichter auszuführen. Ein Voltmeter, das bis etwa 3 oder 4 Volt anzeigt, ist ferner sehr geeignet für die Untersuchung der Zellen.

Die erste Ladung der Batterie muß 15 Stunden lang mit der vollen vorgeschriebenen Ladestromstärke ohne Unterbrechung erfolgen. Die Batterie bleibt dann etwa eine Stunde lang stehen, ohne daß sie geladen oder entladen wird. Sodann wird wiederum mit voller Stromstärke bis zur lebhaften Gasentwicklung geladen, und sodann wird die Batterie wiederum einer Ruhepause, wie vorher, überlassen; dann folgen weitere Ladungen mit Ruhepausen so lange, bis die Batterie beim Einschalten zur Ladung sofort eine kräftige Gasentwicklung zeigt.

Das spezifische Gewicht der Säure soll in allen zu einer Batterie miteinander vereinigten Zellen gleich sein. Zur Füllung darf nur reine verdünnte Schwefelsäure verwendet werden, welche frei ist von Chlor, Arsen und Salpetersäure und das spezifische Gewicht 1,17 hat.

Zur Prüfung auf etwa vorhandenes Chlor wird der verdünnten Schwefelsäure etwas in Wasser gelöstes salpetersaures Silber zugesetzt. Die Bildung eines weißen Niederschlages von Chlorsilber,  $\text{AgCl}$ , würde das Vorhandensein von Chlor nachweisen. Das an Chlor reiche Beewasser darf unter keinen Umständen in die Zellen gelangen.

Die reine Schwefelsäure wird mit destilliertem Wasser verdünnt und zwar dadurch, daß die Schwefelsäure langsam und unter Umrühren mit einem Glasstabe in destilliertes Wasser gegossen wird. In allen Zellen muß die verdünnte Säure etwa 1 cm oberhalb des oberen Plattenrandes stehen. Bei vollständig geladener Batterie soll das spezifische Gewicht der Säure nicht unter 1,17 und nicht über 1,19 betragen. Verdunstet die Füllung, so sind Abweichungen von dem vorgeschriebenen Werte der Säuredichte auszugleichen und zwar, wenn das spezifische Gewicht der Säure zu groß ist, durch Nachfüllen destillierten Wassers oder wenn das spezifische Gewicht zu klein ist, durch Nachfüllen mit reiner verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gewicht 1,05 oder mehr.

Die Akkumulatoren sollen in kühlen, trockenen und nicht zu engen Räumen aufgestellt werden. Wegen der bei der Gasentwicklung mitgerissenen Säureteilchen muß eine genügende Ventilation vorhanden sein. Die Akkumulatoren werden dabei in Reihen neben einander aufgestellt und zwar so, daß die Reihe am besten von beiden Seiten zugänglich ist. Auch kann man bei beschränktem Raume und leichten Zellen zwei Reihen übereinander anordnen. Die Gestelle für die an Land aufgestellten Akkumulatorenbatterien sind aus Holzhalter



onstruiert, die mit Teer heiß angestrichen werden. Die Zellen sollen möglichst gut gegen den Erdboden isoliert sein, und jede Zelle ruht daher auf isolierenden Füßen aus Glas oder Porzellan. Die Zelle besteht aus zwei Teilen, der untere hat eine kreisförmige Rinne, die mit Öl ausgefüllt wird. Über die Aufstellung der Batterie an Bord der Kriegs- und Handelsschiffe siehe S. 229.

§ 84. Regulierung der Stromstärke bei der Ladung und bei der Entladung. Während der Ladung steigt die E.M.K. des Akkumulators an. Wird also zum Laden eine Nebenschluß- oder Compounddynamo mit konstanter Polklemmenspannung verwendet oder geschieht die Ladung durch Anschluß an die Lichtleitung, so muß der Ladestrom allmählich in dem Maße abnehmen, wie die Gegen-E.M.K. des Akkumulators zunimmt.

Ist die Betriebspannung der Akkumulatorenbatterie gleich derjenigen der Dynamo, so verwendet man meistens Nebenschlußmaschinen zur Ladung, bei denen durch Einwirkung auf den Nebenschlußregulator die Spannung entsprechend der Gegen-E.M.K. des Akkumulators erhöht werden kann. Bei einer Batterie mit 110 Volt Spannung, welche also  $\frac{110}{1,8} = 62$  Zellen in Reihenschaltung enthält, muß

die Polklemmenspannung der Dynamo auf  $62 \cdot 2,6 \cong 162$  Volt im Verlaufe der Ladung erhöht werden können. Würde aus irgend einem Grunde die Dynamo ihre Tourenzahl vermindern, so würde „Rückstrom“ aus dem Akkumulator in die Dynamo gelangen, welche als Motor dann überlaufen würde. Dabei würde aber der Strom in der Nebenschlußschaltung seine Richtung behalten, so daß die Pole der Dynamo nicht wechseln werden (siehe § 52). Dieser Rückstrom soll jedoch bei dem in der Leitung eingeschalteten Minimausschalter nicht zu Ende kommen.

Ist die Klemmenspannung des Akkumulators erheblich kleiner als die der Dynamo oder als die Spannungsdifferenz zwischen den Polen des Hauptschaltbrettes, so wird nach Fig. 299 in der Zuleitung beim Laden ein regulierbarer Widerstand eingeschaltet, welcher in dem Maße verringert wird, wie die E.M.K. des Akkumulators ansteigt, damit der Ladestrom konstant bleibt. In diesem Regulierverstande entsteht freilich ein nicht unerheblicher Verlust an Energie, der um so größer ist, je größer der in ihm verbrauchte überschüssige Teil der Spannung und je größer die Stromstärke ist.

Im Laufe der Entladung sinkt die E.M.K. und damit auch die Klemmenspannung der Zelle. Soll also die Entladestromstärke konstant bleiben, so bieten sich zwei Mittel:

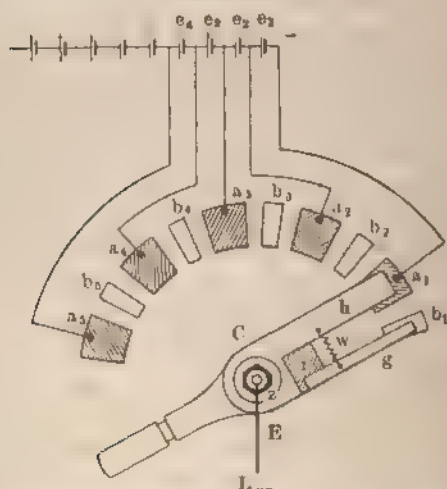
1. Man reguliert bei unveränderlicher Zahl der Zellen die Stromstärke durch einen veränderlichen Widerstand in der Verbraucherschaltung, oder

2. man verändert die Zahl der zur Entladung benutzten Zellen. Ist die Klemmenspannung der Zelle noch 2,2 Volt, so sind für die Betriebsspannung 65 Volt nur  $n_{1/2,2} = 30$  Zellen, ist dagegen die Spannung der Zelle auf den Endwert 1,8 Volt gesunken, so sind  $n_{1/1,8} = 36$  Zellen erforderlich. In dem Maße also wie die Spannung der Zellen heruntersinkt, werden die sechs Zellen nacheinander zugeschaltet. Dies geschieht mit dem Zellenschalter. Diese Regulierung der Spannung bzw. des Stromes hat den Vorteil gegen die vorige, daß kein Energieverlust stattfindet.

Diejenigen Zellen aber, welche zuletzt zur Stromlieferung herangezogen sind, werden weniger entladen sein, als die von Anfang der Entladung eingeschalteten; sie werden daher auch bei der folgenden Ladung eher geladen sein und werden vorteilhaft aus dem Ladestromkreise ausgeschieden, damit nicht unnötig elektrische Energie verbraucht wird.

Einrichtung der Zellenschalter (Fig. 308). Der Messingkontakt ist mit dem negativen Pol der ganzen Batterie verbunden,  $a_1$  mit demjenigen der vorletzten Zelle u. s. w. Die Kontaktstücke  $a_1, a_2, a_3$  u. s. w. sind in kleinen Zellenschaltern für geringe Stromstärken meist im Kreise angeordnet, bei größeren dagegen in gerader Linie. Vom positiven Pole der Batterie sowie von der Kurbel des Zellenschalters gehen die nach den Lampen führenden

Fig. 308.



den Leitungen zu deren Spannungsdifferenz reguliert werden soll. Zwischen zwei Kontakten  $a$  liegt ein Zwischenkontakt  $b$  Isoliermaterial. Wurden die Kontakte  $a$  unmittelbar nebeneinander liegen, so daß beim Abschalten einer Zelle der benachbarte Kontakt der Kurve in einem Augenblicke nebeneinander liegen. Kontaktstücke  $a$  berühren würde, so wie die zwischen diesen Kontaktstücken angeordnete Zelle kurz geschlossen und würde sich mit abnorm hohen Stromstärke entladen. dem Elemente statt und beim Weiterdrehen der Kurbel unterbrochen werden muß, wodurch Verbrennungen und Schmelzungen an den Kontaktstücken entstehen. Die Kurbel enthält daher zwei durch das Isoliermaterial  $i$  voneinander getrennte Schleifkontakte  $h$  und  $g$ . Wird die Zelle  $e_1$  abgeschaltet, so bewegt sich  $h$  auf  $b_1$ , dann auf  $a_2$ , während  $g$  noch auf  $a_1$  liegt, und die Zelle  $e_1$  durch den Widerstand  $w$ , der zwischen den Schleifkontakten  $h$  und  $g$  fest eingeschoben ist, geschlossen wird.  $w$  ist so bemessen, daß die Zelle sich nur mit der höchsten zulässigen Stromstärke entladen kann. Liegt  $h$  auf  $b_1$ , so

Strom aus der Lichtleitung  $L$  über  $w$ , dann durch  $g$  nach  $a_1$ . Im nächsten Augenblick wird aber  $h$  völlig auf  $a_2$  liegen und  $g$  auf  $b_2$ . Wäh-

Fig. 309.



rend des Zu- und Abschaltens der Zellen wird also der Strom in der Lichtleitung nicht unterbrochen, und ferner wird die betreffende Zelle auch nicht geschlossen.

In Fig. 309 ist ein Einfachzellenschalter zur Regulierung der Spannung der Entladeleitung dargestellt, der von Voigt und Haffner in Bockenheim hergestellt wird und für 50 Amp. gebaut ist.

Fig. 310.



Beim Doppelzellenschalter, durch den während der Ladung die bereits geladenen Zellen nacheinander abgeschaltet werden können, während zugleich

die Spannung der vom Akkumulator gespeisten Lichtleitung reguliert werden kann, haben wir zwei drehbare Kurbeln, die eine für die Ladung, die andere zur Entladung. Beide Kurbeln bewegen sich auf derselben Reihe von Kontaktstücken a.

Fig. 310 stellt einen Doppelzellenschalter für 50 Amp. der Firma Voigt und Häffner in Bockenheim dar.

**§ 85. Vorteile der Akkumulatoren in Beleuchtungsanlagen.** In den Beleuchtungsanlagen an Land wird durch Einsatz der Akkumulatorenbatterie die Ausnutzung der Maschinen wirtschaftlicher und der Betrieb sicherer. Dabei wird am Tage, wenn überschüssige Betriebskraft vorhanden ist, durch die Dynamo der Akkumulator geladen, während zur Zeit des Hauptstrombedarfes, wo die vorhandene Betriebskraft nicht ausreicht, Dynamo und Akkumulator parallel geschaltet sind und Strom in die Lichtleitung liefern. Nehmen wir an, daß die Stromlieferung zu dieser Zeit gleichmäßig auf beide verteilt ist, so braucht die Dynamo nur die halbe Stromstärke zu liefern, wie bei reinem Maschinenbetriebe. Die Dynamo ist außer Betrieb gesetzt, und der Akkumulator allein übernimmt die Stromlieferung, wenn der Stromverbrauch auf einen geringen Betrag gesunken ist in den späten Abendstunden oder nachts, wo nur wenige Lampen eingeschaltet sind. Während des Maschinenbetriebes kann also die Dynamo mit voller Belastung und also mit höchstem Wirkungsgrade arbeiten. Durch den Akkumulator ist zugleich eine vorzügliche Reserve vorhanden, wenn der Dynamo ein Schaden entsteht, indem der Akkumulator für eine bestimmte Zeit bis zu einer gewissen, durch die Kapazität vorgeschriebenen Grenze, die Stromlieferung übernehmen kann.

Auch zur Ausnutzung einer konstanten Betriebskraft, z. B. einer Wasserkraft, kann der Akkumulator dienen, indem in den Stunden, wo der Motor ruht, die Energie in den Akkumulatoren aufgespeichert wird.

Besonders auch zur Regulierung für konstante Spannung eignen sich die Akkumulatoren, wenn die Tourenzahl der Dynamo bzw. der Betriebsmaschine in rascher Folge auf und ab schwankt. In diesem Falle wird die Dämpfung der Schwankungen eine kleine Akkumulatoren-(Puffer-)batterie der Dynamo parallel geschaltet.

Auch kann der Akkumulator als Gleichstromtransformator dienen, wenn die Batterie mit der Betriebsspannung 100 bis 110 Volt geladen wird und der Entladung über kleinere Gruppen von Zellen, z. B. zum Betriebe von Telephone und Telegraphen an Bord, verwendet werden (siehe Abschnitt 1).

Auch hier kann er eine wichtige Reserve bei dem Betriebe der Petroleumlampen und der Notbeleuchtung bilden, wenn durch Schaden an der Dynamo die Stromlieferung gestört wird.

Den Vorteilen des Akkumulators stehen die Nachteile gegenüber: 1. die hohen Anschaffungskosten der Akkumulatoren, 2. der Verlust an elektrischer Energie (siehe S. 226) durch die zweimalige Umwandlung beim Laden und Entladen, 3. die Vermehrung der Apparate am Schaltbrett und die Komplizierung des ganzen Betriebes. Dazu bietet das Aufstellen der Zellen an Bord, sowie besonders die Isolation derselben meistens nicht unüberwindliche Schwierigkeiten.

## Fünfter Abschnitt.

# Elektrische Beleuchtung.

## Zehntes Kapitel.

### Die elektrischen Lampen.

#### A. Glühlampen.

#### § 86. Einrichtung und Wirkungsweise der Glühlampen.

Die Glühlampe enthält in einer luftleeren Glasbirne einen Kohlenfaden, der durch Verkohlen eines Fadens aus reiner Cellulose oder aus Kollodium hergestellt wird, das durch Auflösen von Schießbaumwolle in einer Mischung von Alkohol und Äther zu gleichen Teilen erhalten wird.

Nachdem der auf Graphitblöcken in Hufeisen- oder Schlingenform aufgewickelte Faden unter Luftabschluß in Graphitachmelztiegeln bei hoher Temperatur verkohlt ist, wird der Faden präpariert, d. h. in gasförmigen Kohlenwasserstoffen (Lentchgas) geglüht, wobei sich reiner Kohlenstoff auf dem Faden niederschlägt. Durch diese Behandlung wird einerseits ein gleichmäßiger elektrischer Widerstand erreicht, andererseits wird durch Vergrößerung des Querschnittes die lichtausstrahlende Fadenoberfläche vermehrt, so wird der Faden widerstandsfähiger gegen das Zerstäuben. Zur Leitung des Stromes durch die Glaswand dienen kurze, im Glase eingeschmolzene Röhren aus Platin, das annähernd denselben Ausdehnungskoeffizienten wie Glas hat. Die Verbindung dieser Platindrähte einerseits mit dem Kohlenfaden, andererseits mit dem Sockel der Lampe geschieht durch Neusilberdrähte und Kupferdrähte. Der Kohlenfaden wurde früher an die Drähte durch einen leitenden metallischen Kitt befestigt, jetzt geschieht die Verbindung durch den aus kohlenwasserstoffreichen Flüssigkeiten, wie Benzol, Toluol u. s. w., durch Kurzschließen eines elektrischen Stromes niederschlagenen Kohlenstoff.

Die Luft wird aus den Glasbirnen entweder durch Quecksilberluftpumpen oder mechanische Luftpumpen entfernt, neuerdings auch durch ein chemisches Verfahren unter Anwendung von Phosphor. Während des Auspumpens (Evakuierens) muß der Faden glühend gemacht werden, damit die in der verdichteten Luft, insbesondere der Sauerstoff, ausgetrieben wird.

Die Glühlampen leuchten, mit Wechselstrom von 50 Perioden in Sekunde gespeist, ebenso gleichmäßig, wie wenn ein Gleichstrom

durch den Kohlenfaden fließt, da die Temperatur den sehr schnellen Änderungen der Stärke des Wechselstromes nicht folgen kann.

§ 87. Lampensockel und Lampenfassung. Der Lampensockel besteht aus zwei voneinander isolierten, meist in Gips gelegten metallischen Kontaktstücken, welche mit den beiden Enden des Kohlenfadens in leitender Verbindung stehen. Die Lampenfassung dient zur Aufnahme des Lampensockels und zur Zu- und Ableitung des Stromes.

Wir unterscheiden:

1. Edisonfassung. Bei dieser enthält der äußere Ring des Lampensockels ein schwach ansteigendes Gewinde mit abgerundeten Kanten.

Fig. 312.

Fig. 311.

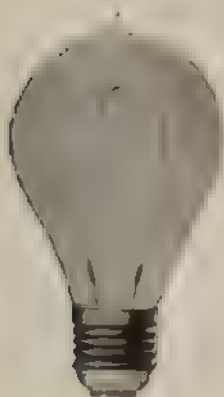


Fig. 313.



Fig. 314.



Endfläche des Lampensockels enthält eine ebene, kreisrunde Fläche, die als zweites Verbindungsstück mit dem Stromkreise.

In Fig. 311 ist eine A. E. G.-Universalfassung mit Normgewinde mit Hahn zum Ein- und Ausschalten an der Fassung für Spannungen bis 250 Volt dargestellt.

Bei den Edisonfassungen lockert sich bei Erschütterungen der Lampensockel leicht in der Fassung, wodurch eine starke Erwärmung der Fassung eintritt, weshalb für die elektrischen Anlagen an Bord



2. die Swanfassungen (Fig. 312 bis 314) bevorzugt werden. Bei diesen sind in dem Lampensockel zwei gleich beschaffene, in Gips eingelegte Kontaktstücke vorhanden, welche gegen zwei federnde Stifte der Fassung gedrückt werden. Der Lampensockel wird durch einen Bajonettverschluß in der mit oder ohne Hahn versehenen Fassung festgehalten.

Bei horizontal oder schräg liegendem Kohlenfaden, der mit der Zeit sich gegen die Glaswand neigt, kann die Lampe mit Swanfassung um  $30^\circ$  gedreht eingesetzt werden, was bei der Edisonfassung meistens unmöglich ist.

Das Umschalten der Lampe ist auch ausführbar bei der Siemensfassung (Fig. 315 u. 316), wo zwei schwalbenschwanzförmige Kontaktbleche vorhanden sind.

Daneben gibt es noch zahlreiche andere Fassungen, die jedoch auf dem Schiffe wenig Verbreitung gefunden haben.

**§ 88. Lichtstärke und Messung derselben.** Sollen die nach dem Verkohlen erhaltenen Fäden für Lampen benutzt werden, so bei einer bestimmten Spannung eine im voraus bestimmte Lichtstärke haben, so dürfen für jede Lampensorte nur Kohlenfäden von bestimmtem elektrischen Widerstand verwendet werden. Eine Glühlampe mit der Lichtstärke von 16 Normalkerzen, die am Betriebe eine Spannung von 110 Volt erfordert, verbraucht ungefähr den Strom 0,5 Amp., der Kohlenfaden der Lampe ist also so ausgewählt, daß er im weißglühenden Zustande einen Widerstand

$$\frac{110}{0,5} = 220 \Omega \text{ leistet.}$$

Die Glühlampen werden in der Regel die Lichtstärken 5, 10, 16, 25, 32, 50 Normalkerzen hergestellt. Bei Lampen mit hoher Kerzenstärke bis 150 N.K. erhält der Kohlenfaden noch die gewöhnliche Form, für Lampen mit noch höherer Kerzenstärke muß der lange Bügel (Fig. 317) an einer oder mehreren Stellen durch Stützen gestützt werden.

Für hohe Kerzenstärken erreicht man bald eine Grenze in der Länge des Kohlenfadens und in der Größe der Gasbirne, weil wegen des dünnen Glases die Festigkeit zu gering wird.

Die Lichtstärke der elektrischen Lampen wird durch die Lichtstärke der Normalkerze gemessen. Bei der Messung der Licht-

Fig. 315.



Fig. 316.



Fig. 317.





starke (Photometrie) wird als Einheit die Lichtstärke der von v. H. Alteneck vorgeschlagenen Lampe zu Grunde gelegt. Diese hat einen Docht, der mit einem Amylacetat getränkt ist und in einem Neusilberrohrchen von 8 mm lichter Weite herausragt. Die Flammenhöhe beträgt 40 mm.

Zur Vergleichung der Lichtstärke einer leuchtenden Flamme einer Glühlampe mit der Lichtstärke der Normkerze die Photometer. In den meisten Photometern beobachtet man mit dem Auge die Helligkeit zweier nebeneinander liegender Flächen, denen die eine von der zu untersuchenden Lichtquelle, die andere von der Normkerze beleuchtet wird. Die Abstände der beiden Lichtquellen von den Flächen werden dann so gewählt, daß beide gleich hell erscheinen. Die Lichtstärken der beiden Lichtquellen halten sich wie die Quadrate der Entfernungen derselben von der beobachteten Fläche. In der Einrichtung am einfachsten ist das Fettfleckphotometer von Runsen.

§ 89. Glühlampen für verschiedene Spannungen. Die Glühlampen werden für die in § 88 angegebenen Kerzenstärken hergestellt für die sehr gebräuchliche Betriebsspannung 110 Volt hergestellt

Fig. 818.



dann in Parallelschaltung (vergl. S. 240) betrieben. Nicht so häufig wird die Art dieser Art mit 65 und 70 Volt Betriebsspannung

Seltener werden Glühlampen für Beleuchtung gebraucht mit den Spannungen 5, 10, 25 Volt. Lampen dieser Art verbrauchen 6, 10 Amp. Eine Glühlampe von Siemens & Halske, A.-G., für Serienschaltung ist in Fig. 819 dargestellt.

Neuerdings werden auch Glühlampen für bis 220 Volt mit sehr feinem Kohlenfaden hergestellt, eventuell enthalten diese Lampen eine Reihe geschaltete Kohlenfäden, von denen jede die Spannung 110 Volt verbraucht.

In Nachfolgendem ist eine Zusammenstellung der von Siemens und Halske, Berlin, gelieferten Glühlampen gegeben.

a) Gebräuchlichste Glühlampen für Spannungen bis 110 Volt. 5, 10, 16, 25 und 32 Kerzen

Lichtstärke	Spannung	Stromstärke	Lichtstärke	Spannung	Stromstärke
N. K.	Volt	Amp.	N. K.	Volt	Amp.
5	110	0,16	25	65	1,0
10	65	0,54	25	110	0,45
10	110	0,32	32	65	1,2
16	65	0,86	32	110	0,72
16	110	0,51			

Der normale spezifische Verbrauch, d. h. der Wattverbrauch pro N.K. beträgt 3,5 Watt. Dieselben Lampen werden auch für einen geringeren spezifischen Verbrauch von  $2\frac{1}{2}$  Watt und 2 Watt hergestellt.

b) Glühlampen für Spannungen 180 bis 250 Volt von 5, 10, 16, 25, 32, 50 und 100 Kerzen:

Lichtstärke in N.K.	Spannung in Volt	Stromstärke in Amp.	Wattverbrauch pro N.K.
5	200	0,12	5
10	220	0,18	4
16	220	0,25	3,5
25	220	0,4	3,5
32	220	0,5	3,5
50	220	0,8	3,5
100	220	1,6	3,5

Lampen von 25, 32, 50 und 100 Kerzen werden auch für den spezifischen Verbrauch 3 Watt hergestellt.

c) Glühlampen für Spannungen bis 160 Volt und von 50, 65, 100, 200, 300 und 400 Kerzen.

Lichtstärke in N.K.	Spannung in Volt	Stromstärke in Amp.	Lichtstärke in N.K.	Spannung in Volt	Stromstärke in Amp.
50	10	15	100	65	4,6
50	65	2,3	100	110	2,7
50	110	1,36	200	110	5,5
100	20	15	400	110	10,9

Der normale Wattverbrauch pro N.K. beträgt 2,5 bis 3 Watt. Die vorstehenden Tabellen enthalten nur einige ausgewählte Lampen, darunter auch die gebräuchlichsten.

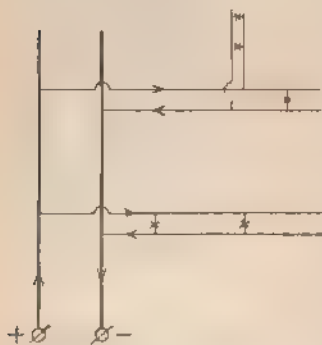
§ 90. Lebensdauer der Glühlampen und Abnahme der Leuchtkraft. Infolge des Verdampfens der Kohle wird die innere Glaswand der Birne schwarz und läßt weniger Licht durch. Zugleich wird der Querschnitt des Kohlenfadens geringer und der Widerstand desselben größer. Bleibt die Betriebsspannung der Lampe konstant, wird also die Stromstärke im Kohlenfaden und damit auch die Leuchtkraft desselben abnehmen. Die Lebensdauer der Glühlampe ist also begrenzt und hängt sehr ab von der Qualität des Kohlenfadens, von dem Vakuum und von dem spezifischen Verbrauch an elektrischer Energie in der Lampe, d. h. von dem Energieverbrauch

derselben pro N.K. Bei den meisten gebräuchlichen Lampen beträgt der spezifische Verbrauch 3,3 bis 3,4 Watt. Im allgemeinen haben die Lampen mit höherem spezifischen Verbrauch eine längere Lebensdauer, als die Lampen derselben Art mit geringerem spezifischen Verbrauch. In vielen Fällen wird die Lampe nur so lange gebraucht, bis ihre Lichtstärke um etwa 20 Proz. des Anfangswertes gesunken ist. Sieht man von der Forderung einer möglichst gleichmäßigen Beleuchtung ab, so können Glühlampen 800 Brennstunden und weit mehr im Betriebe sein. Im allgemeinen nimmt auch bei konstanter Spannung nach 600 Brennstunden die Leuchtkraft merklich ab.

Für jede Lampe ist eine normale Spannung vorgeschrieben, die meist am Lampensockel oder an der Birne selbst angegeben ist. Der Betrieb mit einer größeren Spannung als der normalen liefert eine größere Lichtstärke, und dabei freilich arbeitet die Lampe ökonomischer. Die Glühlampen sind überhaupt gegen Spannungsänderungen sehr empfindlich, indem eine Vergrößerung der normalen Betriebsspannung um 1 Proz. eine Erhöhung der Leuchtkraft um 6 bis 7 Proz. ergibt. Dem Vorteile der größeren Ökonomie steht freilich der Nachteil einer sehr reduzierten Lebensdauer und einer raschen Abnahme der ursprünglichen Lichtstärke entgegen.

Häufig wiederkehrende Spannungsschwankungen bedingen eine Verkürzung der Lebensdauer und zwar um so mehr, je höher die Lampe beansprucht wird. Dagegen bedingen die rasch aufeinander folgenden

Fig. 319.



Oscillationen des gebräuchlichen Wechselstromes, sofern nur die effektive Stärke desselben unverändert bleibt, keine kürzere Lebensdauer als bei dem Betriebe an Gleichstrom.

§ 91. Schaltung der Glühlampen. Am gebräuchlichsten und an Bord fast ausschließlich in Anwendung ist die Parallelschaltung der Lampen. In diesem Falle haben wir den auf S. 90 besprochenen Betrieb mit konstanter Spannung. Fig. 319.

Die Leitungsquerschnitte sind derartig ausgewählt, daß bei der Schaltung aller Lampen der Spannungsverlust in der Hin- und Rückleitung von der Dynamo *D* bis zur entferntesten Lampe zusammen nur 1 bis 4 Proz. der Betriebsspannung (Netzspannung) beträgt. Sämtliche Lampen werden also nahezu mit der gleichen Spannungsdifferenz betrie-

§ 92. Neuere Glühlampen. 1. Nernst-Lampe (Fig. 321). dieser wird als Glühfaden ein Körper verwendet, der bei gewöhnlicher 1-

stur den Strom nicht leitet, jedoch bei höherer Temperatur zum Stromleiter wird. Ein Stäbchen aus Magnesium- oder Calciumoxyd ist bei gewöhnlicher Temperatur ein sehr schlechter Leiter, mit der Flamme eines Gasbrenners kurze Zeit lang erhitzt, wird es zum Leiter eines Stromes.

Fig. 320.



Fig. 321.



über das Stäbchen in Weißglut tritt, wenn die Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Stäbchens reichend hoch ist. Fig. 320 zeigt Brenner der Nernst-Lampe

Fig. 321 die Lampe mit Bajonettfassung, wie dieselbe von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin geliefert wird. Als Vorrichtung zum Anwärmen bei automatischer Zündung der Lampe dient ein sehr feiner Platindrath, der auf einen Glühfaden spiralförmig in gleichem Abstände umgebende, Porzellanmasse als Träger gewickelt

Beim Einschalten der Lampe fließt zunächst nur der Strom durch den Platindrath, der rothglühend wird und den Glühfaden erhitzt. Wenn letzterer genügend angewärmt

übernimmt er allein die Leitung des Stromes und sendet ein blendend weißes Licht aus. Das Umschalten des Lichtes erfolgt durch einen kleinen, im Lampensockel liegenden Magneten (Magnet). Der Glühfaden mit Heizspirale befindet sich in einer Hülle aus Porzellan und im luftleer gefüllten Raume. Die Nernst-Lampen sind für die bei gewöhnlichen Kohlenfadenlampen gebräuchlichen Spannungen hergestellt; der spezifische Verbrauch ist geringer als bei den Kohlenfadenlampen und beträgt etwa 1,8 Watt pro N.K. Die mittlere Lebensdauer beträgt ungefähr 1000 Brennstunden, nach welcher Zeit die Abnahme der Lichtstärke etwa 50 Proz. des Anfangswertes beträgt.

2. Auersche Osmiumlampe. In einer luftleeren Glasbirne wird an Stelle des Kohlenfadens ein feiner Draht aus Osmium eingeschaltet, das bis jetzt als unschmelzbar gilt. Die Lampen sollen für eine Spannung von 10 Volt hergerichtet sein. Bei der schwierigen Gewinnung des Osmiums hat die Lampe zunächst wenig Aussicht auf größere Verbreitung.

## B. Bogenlampen.

§ 93. Die Entstehung des Lichtbogens. Werden zwei Kohlenstäbe mit den Polklemmen einer Stromquelle von hinreichender Spannung verbunden und dann mit den zugespitzten Endflächen zur Berührung gebracht, so findet infolge des großen Widerstandes an der

Fig. 322.



einander gezogen, so wird der Strom nicht unterbrochen, sondern bei genügender Spannungsdifferenz bilden die verdampfenden Kohleteilchen einen Leiter. Die Kohlespitzen geraten dabei in Weißglut, und zwischen ihnen bildet sich eine leuchtende Flamme.

Davy (1808) hat zuerst den Lichtbogen bei zwei horizontal gestellten Kohlenstäben bis zu einer Länge von 18 cm beobachtet. Bei dieser Anordnung wird die Flamme durch einen infolge der Erhitzung aufsteigenden Luftstrom nach oben durchgebogen (Davy's Lichtbogen, Fig. 322). Da heute in fast allen Bogenlampen die Kohlenstäbe vertikal gestellt werden, so kam von einem eigentlichen „Lichtbogen“ nicht mehr gesprochen werden.

§ 94. Der Gleichstromlichtbogen. Verwendet man Gleichstrom, so wird die mit dem positiven Pole verbundene Kohle — die positive Kohle — rascher verbraucht, als die negative; der Verbrauch der positiven Kohle zu dem der negativen verhält sich ungefähr wie 2:1. An der Endfläche der positiven Kohle bildet sich eine kraterförmige Aushöhlung, die am stärksten leuchtet und die höchste Temperatur

Fig. 323.



Fig. 324.



Fig. 325.



peratur (3500° C.) hat. Von diesem glühenden Krater röhren 85 Proz. des ausgesandten Lichts her. Der Lichtbogen selbst sendet nur ungefähr 5 Proz. der gesamten Strahlung aus. Die negative Kohle spitzt sich zu und hat ungefähr die Temperatur 2500° C., von wo röhren etwa 15 Proz. der gesamten Strahlung her.

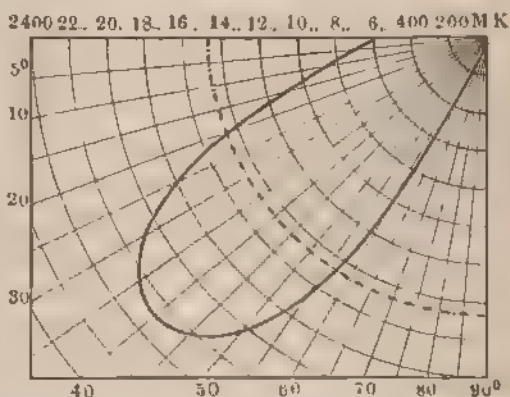
In den Gleichstrombogenlampen verwendet man als positive Elektrode die Dochtkohle. Die in Handel gebrachten Kohlen bestehen aus einer unter Luftabschluss gebrannten Mischung von Graphit und Teer. Die Dochtmasse im zentralen Teile der + -Kohle

Graphit und Wasserglas. Bei normaler Spannung nimmt das Ende der negativen Elektrode die Gestalt eines kleinen, oben schwach abgerundeten Kegels (Fig. 324) an, der sich auf einer größeren Grundfläche befindet. Bei zu geringer Spannung endet die negative Kohle auf einer dünnen Spitze, die sogar eine kleine Halbkugel, den sogenannten „Pilz“ (Fig. 325) tragen kann, der zuweilen in die obere +Kohle einbrennt und dann zu einem zischenden Geräusche des Lichtbogens Veranlassung gibt. Ist die Spannung dagegen zu groß, so rundet sich der Kegel an dem Ende der negativen Kohle immer mehr ab (Fig. 323).

Bei senkrecht stehenden Kohlen ändert sich die Lichtausstrahlung mit der Richtung derselben. Fig. 326 gibt die Kurve der Strahlung des Lichtbogens einer Gleichstrombogenlampe von der Bogenlampenfabrik Körtling

Fig. 326.

und Mathiesen in Leutzsch-Leipzig für 20 Ampere und 43 Volt zwischen den Kohlelektroden, von denen die +Kohle 20 mm, die -Kohle 13 mm Durchmesser hat. Das Maximum der Lichtausstrahlung liegt hier etwa bei einem Winkel von  $40^\circ$  unter der durch den Lichtbogen gelegten horizontalen Ebene. Die in Fig. 326 dargestellte Kurve ist ein radialer Schnitt durch die rings um die Kohlen gelegte Rotationsfläche, indem in allen



nach die Kohlen gelegten Vertikalebene dieselbe Verteilung der Strahlung stattfindet. Im ganzen hat die Kurve der Lichtstärke des nackten Lichtbogens nur geringes praktisches Interesse, da selten der Lichtbogen nackt, sondern meist mit einer Glocke aus Klarglas (Opal- oder Alabasterglas), wobei infolge der starken Zerstreuung der Strahlen die Lichtverteilung wesentlich anders als in Fig. 326 wird.

Bei der gewöhnlichen Anordnung der Kohlen (+Kohle oben) eignet sich die Gleichstrombogenlampe besonders zur Bodenbeleuchtung.

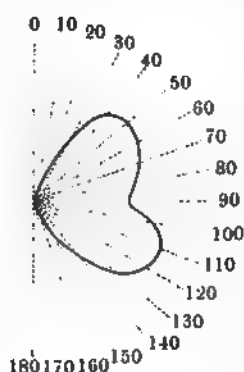
§ 95. Der Wechselstromlichtbogen. Verwendet man Wechselstrom zur Erzeugung des Lichtbogens, so flachen sich beide Kohlenende an ihren Enden ab und zeigen an denselben kleine Krater (Fig. 327). Auch hier treten bei zu geringer Spannung und zu kurzem Bogen pilzförmige Bildungen an beiden Kohlen auf, die auch bei normaler Spannung von schlechter Kohle herrühren können. Im allgemeinen ist der Abbrand an beiden Kohlen gleichmäßig; beide Kohle-

elektroden haben daher die gleiche Stärke und sind Dochtkohlen. Der Docht soll die Kraterbildung begünstigen.

Fig. 327.



Fig. 328.



Bei senkrecht stehenden Kohlen wird nach oben und unten gleich viel Licht ausgestrahlt. Die Kurve, welche die Lichtverteilung in einer durch die Kohlen gelegten Vertikalebene darstellt, hat die in Fig. 328 wiedergegebene Form. In der Richtung 30 — 40° oberhalb und unterhalb der durch die Kohlen gelegten Horizontalebene ist die Ausstrahlung ein Maximum.

§ 96. Spannungsdifferenz zwischen den Kohleelektroden. Die zum Betriebe des Lichtbogens erforderliche Spannung zwischen den Kohleelektroden hängt bei Gleich- und Wechselstrom von der Länge

des Lichtbogens, von dem Material der Kohle und der Art derselben (Homogen- oder Dochtkohle) und von der Stromstärke ab; bei Wechselstrom außerdem noch von der Kurvenform desselben.

Bei Wechselstrom und Gleichstrom und für alle Kohlenarten nimmt die Spannung bei ruhig brennendem Bogen langsam mit wachsender Bogenlänge zu.

Für jede Stromstärke und Lichtbogenlänge gibt es eine untere Grenze der Spannung, unterhalb welcher der Lichtbogen unruhig brennt und zischt. Bei den am häufigsten vorkommenden Stromstärken von 6 bis 20 Amp. und Bogenlängen von 2 bis 4,5 mm beträgt für Gleichstrom die Spannung zwischen den Kohleelektroden 42 bis 48 Volt.

Beim Wechselstromlichtbogen von derselben Länge und bei derselben effektiven Stromstärken ist die Spannungsdifferenz zwischen Dochtkohlen 28 bis 34 Volt. Bei Homogenkohlen würde die Spannungsdifferenz unter denselben Verhältnissen erheblich größer sein.

#### § 97. Optischer Wirkungsgrad und spezifischer Verbrauch.

Der optische Wirkungsgrad ist das Verhältnis der leuchtenden gesamten vom Lichtbogen ausgehenden Strahlung. Der optische Wirkungsgrad der Kohlenfadenlampen beträgt etwa 3 bis 5 Proz., dagegen der Wirkungsgrad der Bogenlampen 10 Proz. wegen der höheren Temperatur der Kohlen. Nach den meisten der vorliegenden Beobachtungen ist der Energieverbrauch pro N.K. im Gleichstromlichtbogen erheblich kleiner als im Wechselstromlichtbogen. Die Wechselstrombogenlampe braucht bei gleicher Leuchtkraft 30 Proz. und mehr an Energie als die Gleichstrombogenlampe. Für da



Energieverbrauch der Bogenlampen jedoch sind Bogenlänge und Material der Kohlen von größter Wichtigkeit, so daß sich allgemein gültige Angaben über den Energieverbrauch im Gleichstrom- und Wechselstromlichtbogen schwer machen lassen.

Eine Gleichstrombogenlampe für 10 Amp. hat zwischen den Kohlelektroden die Spannungsdifferenz 45,2 Volt bei einer Lichtbogenlänge von 1 mm. (Vergl. Uppenborn, Kalender für 1902, S. 133.)

Die maximale Lichtstärke beträgt 1450 N.K., während die praktische hemisphärische Lichtstärke der Lampe mit Überfangglocke 820 N.K. beträgt, d. h. die mittlere Lichtstärke auf einer um den Lichtpunkt und unterhalb desselben liegenden Halbkugel. Der Energieverbrauch im Lichtbogen beträgt somit 452 Watt, also der Verbrauch pro 1 N.K. mittlerer hemisphärischer

Lichtstärke  $= \frac{452}{820} = 0,73$  Watt. Da jedoch die Lampe in einfacher Parallelschaltung (vergl. § 103) einschließlic des erforderlichen Vorschaltwiderstandes eine Spannung von 65 Volt gebraucht, so ist der wirkliche Energieverbrauch für die Lampe 650 Watt und somit der Energieaufwand pro N.K.

der praktischen hemisphärischen Lichtstärke  $\frac{650}{820} = 1,05$  Watt.

Eine 20 Ampere-Gleichstrombogenlampe verbraucht bei 65 Volt Betriebsspannung die Energie  $20 \cdot 65 = 1300$  Watt. Ihre mittlere hemisphärische

Lichtstärke ist 1700 N.K., so daß der spezifische Verbrauch  $= \frac{1300}{1700} = 0,765$  Watt beträgt. Etwas günstiger stellt sich das Resultat bei der Reihenschaltung von zwei oder mehreren dieser Lampen.

Mit höherer Stromstärke bzw. Energieverbrauch der Lampen wächst die Lichtstärke erheblich schneller als diese Größen; Lampen für 3 bis 4 Amp. verbrauchen etwa 1,5 Watt pro 1 N.K. mittlerer hemisphärischer Lichtstärke.

**§ 98. Vorrichtung zum Regulieren der Bogenlampen.** Die Bogenlampen mit selbsttätiger Regulierung erhalten eine oder zwei regulierende Spulen, welche zum Lichtbogen so geschaltet werden, daß der Strom in ihnen direkt durch Veränderungen des Lichtbogens einfließt wird. Das magnetische Feld dieser Spulen wirkt auf einen Eisenkern oder einen Anker, welcher bewegt wird und das Regelwerk in Betrieb setzt.

Das Regelwerk der Bogenlampe soll 1. beim Einschalten der Lampe die Kohlenstifte in Berührung bringen, sofern dieselben im streichenden Zustande nicht schon in Berührung sind, 2. nach erfolgter Zündung auf einen kurzen Abstand voneinander entfernen, der von der Stromstärke, der Lichtstärke u. s. w. abhängt, und 3. die Länge des Lichtbogens trotz des Abbrennens der Kohlen konstant halten.

Bezüglich der inneren Schaltung kann die Regulierung der Bogenlampe nach den folgenden drei Methoden ausgeführt sein:

1. Die regulierende Spule ist mit dem Lichtbogen in Reihe geschaltet. Hauptstrombogenlampen.

2. Die regulierende Spule ist parallel zum Lichtbogen geschaltet.

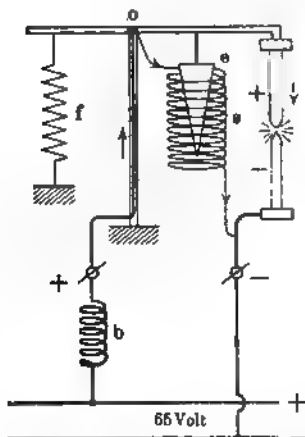
3. Die regulierende Spule ist parallel zum Lichtbogen geschaltet.

3. Die eine der regulierenden Spulen ist in Reihe mit dem Lichtbogen, die andere ist dem Lichtbogen parallel geschaltet: Differentiallampen.

Wir übergangen die Wirkungsweise der sehr wenig gebräuchlichen Hauptstromlampen und beschreiben die Wirkungsweise der

§ 99. Nebenschlußbogenlampen. Die Schaltung derselben ist schematisch in Fig. 329 dargestellt. Der Strom, welcher durch die im Nebenschluß zum Lichtbogen liegende Regulierspule  $s$  fließt,

Fig. 329.



ist proportional der Spannung zwischen den Kohlenstiften. Die Spule  $s$  hat hohen Widerstand und große Windungszahl. Die obere  $+$ -Kohle sei an dem um  $o$  drehbaren Hebel befestigt. Am Hebel hängt der Eisenkörper  $c$ , welcher teilweise in das Innere der Spule  $s$  hineinragt.  $f$  ist eine Feder, welche der von der Spule auf  $c$  ausgeübten Kraft entgegenwirkt. Die Lampe sei zwischen zwei Leitungen eingeschaltet, zwischen denen die konstante Spannungsdifferenz 65 Volt vorhanden ist. Der Lampe ist der Widerstand  $b$  vorgeschaltet ( $b =$  Beruhigungs- oder Vorschaltwiderstand). Ist die normale Stromstärke

im Lichtbogen 10 Amp., so beträgt  $b$  etwa 2  $\Omega$ . Der Vorschaltwiderstand  $b$  vermindert die Stromschwankungen.

Wäre nur die Lampe in Fig. 329 ohne Vorschaltwiderstand eingeschaltet, so würde in dem Augenblicke des Anzündens der Widerstand der Lampe sehr gering und die Stromstärke in den Kohlenstäben sehr hoch sein, während in der parallel geschalteten Spule nach § 16 die Stromstärke fast Null ist. Infolgedessen würde die Feder  $f$  plötzlich kräftig wirken und die Kohlen mit großer Gewalt auseinander reißen, wobei wiederum die Stromstärke im Lichtbogen sehr weit heruntersinken würde. Ohne den Vorschaltwiderstand würde also die Stromstärke zwischen zwei weit voneinander liegenden Grenzwerten schwanken, wobei jedes ruhige Funktionieren des Regelwerkes ausgeschlossen ist. Die Schwankungen fallen natürlich viel geringer aus, wenn die Stromstärke nicht nur von dem variablen Widerstande des Lichtbogens, sondern auch dem festen Widerstande  $b$  abhängt. Durch den Widerstand  $b$  entsteht ein nicht unbedeutender Energieverlust, der freilich bei mehreren hintereinander geschalteten Lampen in Bezug auf den Gesamtverbrauch geringer wird.

Solange die Lampe (Fig. 329) nicht eingeschaltet ist, sind die Kohlenstifte durch die Zugkraft der Feder  $f$  voneinander entfernt. Beim Einschalten der Lampe fließt zunächst nur ein schwacher Strom durch  $s$ , die Kohlenstifte werden also zusammengebracht. Bei Berüh-

derselben sinkt infolge des Spannungsverlustes in  $b$  die Spannung zwischen den Kohlenstiften und damit die Stromstärke in  $s$ . Sodann zieht die Feder die Kohlen wieder voneinander, so daß die Bildung des Lichtbogens kommt.

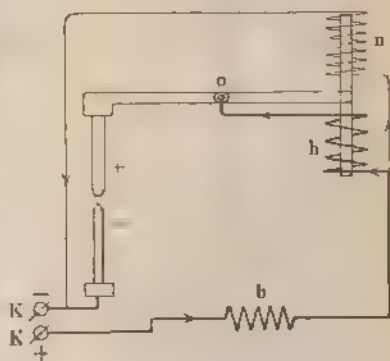
Je länger der Lichtbogen wird, desto geringer ist der Spannungsverlust wegen der Stromstärke in demselben, desto geringer ist auch der Spannungsverlust in  $b$ . Je geringer aber der letztere, desto größer ist bei konstanter Betriebsspannung (65 Volt) die Spannungsdifferenz zwischen den Kohlen, und also auch die Stromstärke in  $s$ . Die Kohlenspitzen nehmen also solchen Abstand voneinander an, daß Federkraft und Zugkraft der Spule einander das Gleichgewicht halten. Da die Zugkraft der regulierenden Spule allein von der Stromstärke in ihr abhängt, diese aber der Spannungsdifferenz zwischen den Kohlestiften proportional ist, so reguliert die Differentialbogenlampe auf konstante Spannung zwischen den Kohlen.

§ 100. **Differentialbogenlampen.** Bei dieser Lampe, deren Schaltung schematisch in Fig. 330 dargestellt ist, wird die Regulierung durch die Differenzwirkung einer Hauptstromspule  $h$  und einer Nebenspule  $n$ , die im Nebenschluß zum Lichtbogen liegt, ausgeführt. Die Nebenspule hat hohen Widerstand und große Windungszahl im Vergleich zur Hauptstromspule.

Es ist ein der Lampe vorgeschalteter Widerstand. Zwischen den Kohlen  $K$  sei wiederum die Spannung 65 Volt vorhanden, und der Widerstand  $b$  sei so bemessen,

daß in ihm bei dem normalen Lichtstrom etwa 20 Volt verfallen. Solange die Lampe nicht eingeschaltet ist, liegen die Kohlenspitzen in Berührung. Im Moment des Einschaltens geht daher ein kräftiger Strom durch  $h$ , wodurch nach kurzer Zündung die Kohlen voneinander gezogen werden. Je größer der Widerstand zwischen den Kohlenspitzen ist, desto geringer ist auch die Spannung zwischen ihnen und damit der Strom in  $n$ . Mit wachsender

Fig 330.

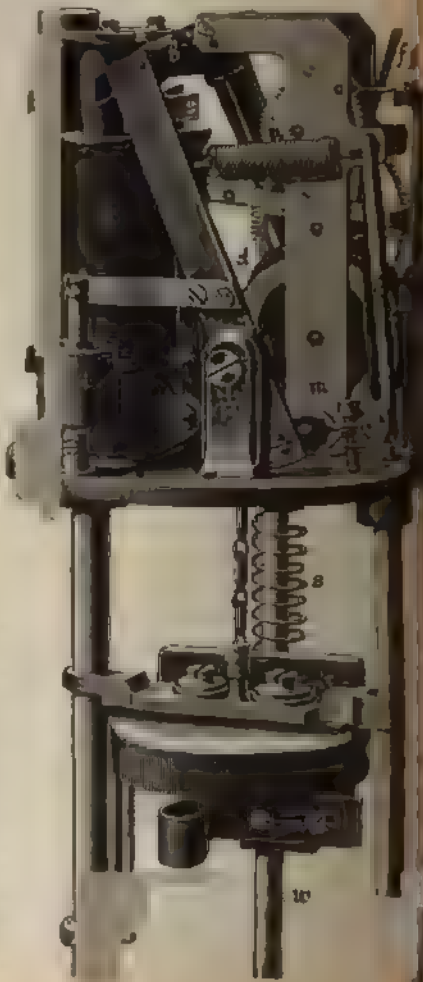
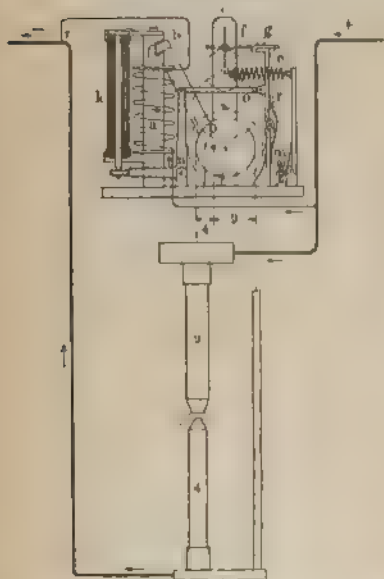


länge des Lichtbogens steigt der Widerstand desselben, damit auch die Spannung zwischen den Kohlen und der Strom in  $n$ . Mit wachsender Länge des Lichtbogens wird also die Zugkraft der Spule  $n$  zunehmen. Bei der normalen Länge des Lichtbogens sind die Zugkräfte der beiden Spulen im Gleichgewichte, d. h. die Lampe reguliert so, daß

die Stromstärken in  $A$  und  $w$  konstant sind, oder daß die Stromstärke im Lichtbogen und die Spannung zwischen den Kohlen konstant bleiben, d. h. die Differentiallampe reguliert auf konstanten Widerstand des Lichtbogens.

Bei den vorher gegebenen schematischen Darstellungen der Wirkungsweise ist die Einrichtung unberücksichtigt geblieben, wodurch allmählich bei fortschreitendem Abbrand der Kohlen die Kohlenhalter zusammen bewegt werden.]

§ 101. Beschreibung spezieller Bogenlampen. 1. Nebenschlußbogenlampe Modell F (Fig. 331 und 332) von Korting und  
Fig. 331. Fig. 332.

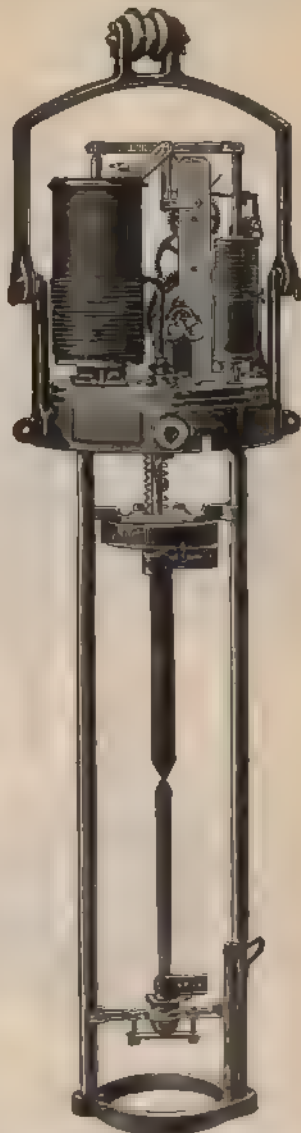
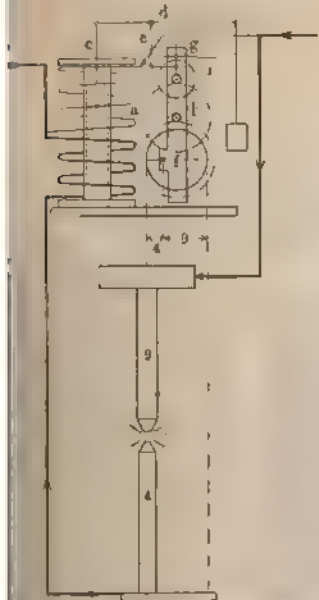


Mathiesen, Leutsch-Leipzig. Das Regelwerk der Lampe besteht aus einem Magneten  $a$ , zusammen mit einem um die Achse  $p$  schwingenden Laufwerk  $c$ , über dessen Rolle eine Kette läuft, die die beiden beweglichen Kohlenhalter trägt. Beim Einschalten der Lampe wird der Anker  $b$ , der fest mit dem Laufwerk verbunden ist, in den seitlichen Einschnitt der Polschuhe hineingezogen, und da das Laufwerk und damit die Rolle  $d$  an der Schwingung des Ankers teilnimmt, so nähern sich die Kohlestifte einander, während sie vorher einen

zu Abstand hatten. Kommen dabei die Kohlenstifte noch nicht in Berührung, so wird das jetzt frei gegebene Laufwerk durch das Übergewicht des Kohlehalters in Tätigkeit gesetzt, bis der Zusammenstoß der

Fig. 333.

Fig. 334.



ste erfolgt. In diesem Augenblick die Magnetspulen *a*, welche nach parallel oder im Nebenschluss Lichtbogen liegen, fast stromlos, und der *c* zieht den Anker *b* wieder zu während der Lichtbogen gebildet. Dabei stellt sich der Anker so ein, Gleichgewicht zwischen der magnetischen Anziehung und der Zugkraft der *g* ist.

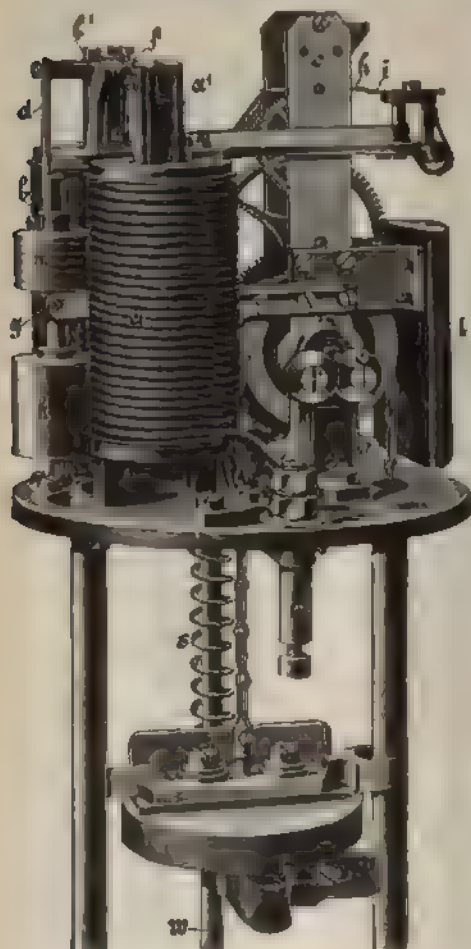
Wird infolge des Abbrandes die Spannung im Lichtbogen, so bewegt sich der so, daß das Flügelrad *f* von der Feder *g* frei wird, wodurch das eine langsame Annäherung der Kohle herbeiführt. Dabei steigt die Stromstärke im Lichtbogen, während die Spannung zwischen den Kohlestiften und damit die Stromstärke in *a* sinkt. Sind die Kohlestifte weit genug genähert, so schlägt der Anker zurück, und das Flügelrad *f* durch die Arretierung gehemmt. Der Luftdämpfer *i* mäßigt dabei die Schwingungen des Ankers *b*.

Die Regulierung der Lichtbogenspannung wird durch Anziehen oder

Nachlassen der Feder *c* mittels der im Hebel *h* sitzenden Stellschraube *a* ausgeführt.

Außerdem ist noch in der Lampe ein Wärmekompensator *k* vorhanden, der das Anwachsen der Spannungsdifferenz zwischen den Kohlestäben verhindert, wenn infolge der in *a* nach dem Jouleschen Gesetze entwickelten Wärme, sowie der vom Lichtbogen ausgestrahlten Wärme der Widerstand

Fig. 335.



der Magnetspulen *a* zunimmt. Der Wärmekompensator *k* besteht aus einer Reihe ineinander gesteckter und wechselseitig so miteinander verbundener Röhren aus Zink- und Eisenblech, daß die Differenzen der beiderseitigen Ausdehnungen addiert werden. Die Ausdehnung wird durch Winkelhebel und Zugstange auf den Hebel *e* übertragen, der die Anschlagszunge *g* so weit zurückzieht, wie der Magnetanker und das Flügelmagnet durch die verminderte Kraft des Magneten zurückgetreten sind.

2. Differentiallampe Modell J von Körting u. Mathieson. Leutsch - Leipzig. In dieser Lampe (Fig. 335 und 336) ist ein Doppelsystem *a* vorhanden, welches eine Nebenschluss- und eine Hauptstromspule enthält, die auf einen gemeinschaftlichen Eisenkern wirken. Gleichgewicht ist vorhanden, wenn beide Spulen die gleiche Anzahl Amperewindungen haben. Wird der Widerstand des Lichtbogens größer, und damit also die Stromstärke *i* der Hauptstromspule ab, so steigt die Spannung an

den Enden der Nebenschlusspule, der Eisenkern wird in Fig. 335 in die Höhe gezogen, das Laufwerk *b* wird frei und die Kohlespitzen nähern sich einander, bis der Strom in der Hauptstromspule solche Stärke erlangt hat, daß der Kern in die Gleichgewichtslage gezogen wird, wobei das Laufwerk durch die Zunge bei *e* gehalten wird. Die Bewegungen des Eisenkernes werden durch den dreiarmligen Hebel *d* und durch die Zugstange *e* auf das Laufwerk *b* übertragen, das um die auf Rollen gelagerte Achse *f* schwingt. Der



Hebel *d* steht auch in Verbindung mit einem Luftdampfer, der die Bewegungen des Eisenkernes abschwächt.

Wir übergehen hier die Beschreibung der von den übrigen elektrotechnischen Firmen gelieferten Bogenlampen in denen sehr vollkommene Reguliervorrichtungen ähnlicher Art vorhanden sind, wie in den oben beschriebenen Lampen.

Nebenschlußbogenlampen werden auch für den Betrieb mit Wechselstrom hergestellt. Wir beschränken uns hier auf die Beschreibung der

3. Differentiallampe, Modell E, für Wechselstrom von Körting und Mathiesen. Das Regelwerk der Lampe ist in Fig. 335 dargestellt und enthält eine Hauptstromspule *a* und eine Nebenschlußspule *b*, in welche bezw. zwei Eisenkerne *a'* und *b'* eintauchen. Diese Kerne sind an einem Balancier *f* befestigt, der mittels der Zugstange *d* und des Armes *g* das um die Achse *c* schwingende Laufwerk in Bewegung setzt. Die beiden beweglichen Kohlehalter hängen an einer über die Rolle *n* laufenden Kette. Die Wechselstrombogenlampe kann im allgemeinen nur für diejenige Kurvenform des Wechselstromes richtig arbeiten, für welche sie reguliert ist. Ist die Lampe außer Betrieb, so sind die Kohlenstifte miteinander in Berührung. Beim Einschalten geht der Hauptstrom durch *a*, wobei *a'* eingezogen und das Laufwerk nach rechts bewegt wird, so daß die Kohlenstippen zur Bildung des Lichtbogens auseinander gezogen werden. Nimmt die Lichtbogen spannung zu, so wächst die Stromstärke in der im Nebenschluß zum Lichtbogen liegenden Spule *b*, damit wird das Laufwerk nach links bewegt, bis das Flugrad *h* frei wird, und die Arretierung des Laufwerkes aufgehoben ist. Durch das Übergewicht des oberen Kohlehalters sinkt dieser herunter, bis bei hinreichender Stromstärke im Lichtbogen *a'* so weit wieder eingezogen wird, daß die Arretierung des Laufwerkes erfolgt. Die Solenoidkerne *a'* und *b'* bestehen aus dünnen Eisenblechstreifen. Ein kleiner an den Stangen der Lampe befestigter emaillierter Reflektor dient zur Reflexion des nach oben strahlenden Lichtes.

Diese Lampe eignet sich sowohl für einfache Parallel wie auch für Hintereinanderschaltung, und erfordern

4	Lampen in Reihe	120 bis 130 Volt Netzspannung
3	"	" 90 bis 100 "
2	"	" 60 bis 70 "

Die einfache Parallelschaltung erfordert 35 Volt Netzspannung.

Speist man jede Lampe mit einem besonderen Transformator, so ist eine Spannung von 30 Volt ausreichend.

**§ 102. Besondere elektrische Bogenlampen.** 1. Lampen mit eingeschlossenem Lichtbogen (Fig. 336). Der eingeschlossene Lichtbogen zeichnet sich durch geringen Verbrauch an Kohle aus, weil er sich in einer Glashülle befindet, in welche der Sauerstoff der Luft nur in sehr beschränktem Maße Zutritt hat. Bei einer Spannung von 40 Volt haben unter diesen Verhältnissen die Kohlenstifte so geringen Abstand voneinander, daß die Lichtausstrahlung sehr beschränkt wird. Für den eingeschlossenen Lichtbogen bedarf man daher höherer Spannung und zwar etwa 80 Volt. Nach den angestellten Messungen ist der spezifische Verbrauch beim eingeschlossenen Lichtbogen wesentlich größer als beim gewöhnlichen. In manchen Fällen ist die lange Brenndauer der Kohlen von besonderem Werte. Siemens und Halske, A.-G., Berlin, Körting und Mathiesen u. a. m. fertigen Dauerbrandlampen von 100- bis 200stündiger Brenndauer an. Der Betrieb der einzelnen Lampen erfordert eine Netzspannung von 110 Volt.



Viel verbreitet ist die von der Jandus-Gesellschaft in Hausel gebrachte Dauerbrandlampe. Nachteilig für die Verteilung des Lichtes bei diesen Lampen ist das häufig beobachtete „Wandern“ des Lichtbogens auf den nur wenig abgerundeten Endflächen der Kohlenstäbe.

Fig. 338



2. Die Dreischaltungslampe (Triplexlampe). Während bei der Netzspannung 110 Volt meistens nur zwei Bogenlampen in Reihe geschaltet werden können und dabei eines Vorschaltwiderstandes bedürfen, welcher etwa 20 Volt verbraucht, so kann man bei derselben Spannung drei Dreischaltungslampen in Reihe mit nur kleinem Vorschaltwiderstand abordnen. Die Lampen besitzen eine sehr empfindliche Reguliervorrichtung, die in der Ausführung mit derjenigen der Differentiallampen übereinstimmt. Das Inbetriebsetzen dieser Lampen erfolgt mittels eines Anlaufwiderstandes, der entweder von Hand oder automatisch ganz oder auf einen geringen Betriebsstrom ausgeschaltet wird. Bei dieser Schaltung, wo der Energieverlust in dem Vorschaltwiderstand der gewöhnlichen Bogenlampen fortfällt, zu erzielende Gewinn an Licht bezw. an Energieersparnis beträgt 25 bis 30 Proz. Beim Anschluss an ein Netz mit der Betriebsspannung 110 Volt beträgt die Spannungsdifferenz zwischen den Kohlen der Triplexlampen etwa 35 Volt, bei gleicher Stromstärke verhält sich der spezifische Energieverbrauch bei Zweischaltung zu demjenigen bei Dreischaltung etwa wie 0,67 : 0,50.

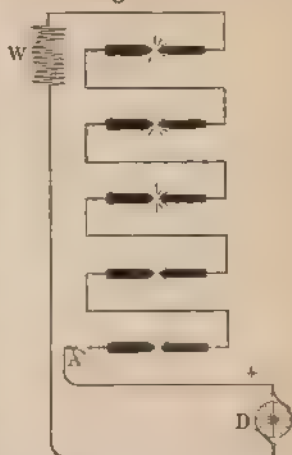
Auf besondere Arten von Bogenlampen wie auf die für indirekte Beleuchtung und für Projektionszwecke, auf die Ersatzkohlenlampen mit zwei nacheinander abzubrennenden Kohlenpaaren, sowie auf die Doppelbogenlampe mit zwei gleichzeitig brennenden Bogen sei hier nur kurz hingewiesen.

Die Versuche, durch Tränkung der Kohle mit gewissen Stoffen die Lichtausbeute zu erhöhen, seien hier erwähnt. Bei den Bogenlampen, besonders Bremer, wird durch einen Zu-

satz von 20 bis 45 Proz. nicht leitender Metallsalze, z. B. Calcium-, Magnesium- oder Silberrnmsalze, eine weit größere Lichtausbeute bei fast gleichem Kohleverbrauch erzielt (siehe Elektrotechnische Zeitschrift 1901 S. 546). Hierher gehören auch die sogenannten Flammenbogenlampen.

§ 103. **Schaltung der Bogenlampen.** Viel seltener als die Parallelschaltung ist bei uns die reine Hintereinanderschaltung der Bogenlampen in größerer Zahl bis zu 20 und mehr. Fig. 337 stellt die Reihenschaltung von 6 Bogenlampen dar. Die Montage einer solchen Anlage ist verhältnismäßig einfach, freilich ist die Abhängigkeit der Lampen voneinander sehr groß, und Störungen in einer der Lampen beeinflussen alle übrigen derselben Reihe.

Fig. 337.



Bei dieser Schaltung wird meistens durch eine Maschine die Stromstärke konstant gehalten, während die Spannung entsprechend der Zahl eingeschalteten Lampen geändert werden muß. Für diese Schaltung verwendet man meistens Differentiallampen. Zur Sicherung des Betriebes bringt man bei Reihenschaltung jeder der Lampen eine Kurzschlußvorrichtung an, die selbsttätig die Lampe ausschaltet, wenn der Lichtbogen aus irgend einem Grunde übermäßig lang wird, oder eine Fehlfunktion, die selbsttätig während der Dauer der Störung einen Ersatzwiderstand einschaltet, der die ganze Lichtbogenspannung oder einen großen Teil derselben verbraucht.

An Stelle dieser Apparate kann auch ein selbsttätiger Umschalter mit Ersatzwiderstand an jeder Lampe der Reihe angebracht werden, welcher die zugehörige Lampe selbsttätig wieder einschaltet, nachdem die Störung beseitigt ist. Einfacher als die genannten Apparate ist der Minimalausschalter für Gleich- und Wechselstrom, der den Stromkreis einer Bogenlampenreihe selbsttätig ausschaltet, sobald eine Lampe aus irgend einem Grunde ausfällt, wodurch das Verbrennen der Nebenschlusspule der betreffenden Lampe verhindert wird.

Bei einer Serienschaltung von Differentiallampen bei einer Netzspannung von über 120 Volt haben die vorhin genannten Apparate den Zweck, 1. die Nebenschlusspule der Lampe, in welcher die Störung auftritt, aus dem Stromkreise auszuschalten und 2. zu verhindern, daß die ganze Lampenreihe erlischt. Nur der erstere Zweck wird durch den Minimalausschalter erreicht. Wenn zwei oder drei Differentiallampen bei 110 Volt in Reihe geschaltet sind, so bedarf es keines Schutzes der Nebenschlusspulen. Auch bei der Serienschaltung von vier Nebenschlusslampen wird man im allgemeinen noch die oben genannten Apparate fortlassen können.

Am häufigsten sind folgende Schaltungen der Gleichstrombogenlampen:

1. einfache Parallelschaltung der Bogenlampen zwischen den Hauptleitungen bei einer Netzspannung von 65 Volt (Fig. 338);
2. zwei gewöhnliche Bogenlampen (Fig. 339) oder drei in Reihe geschaltete Triplexlampen zwischen den Hauptleitungen bei einer Netzspannung von 110 Volt (Fig. 340);
3. vier bis fünf in Reihe geschaltete Differentialbogenlampen bei einer Netzspannung von 220 Volt.

In Fig. 337 bis 340 bedeutet *D* die Dynamo, welche eine Compound- oder eine Nebenschlufsdynamo ist. *b* ist der

Fig. 338.

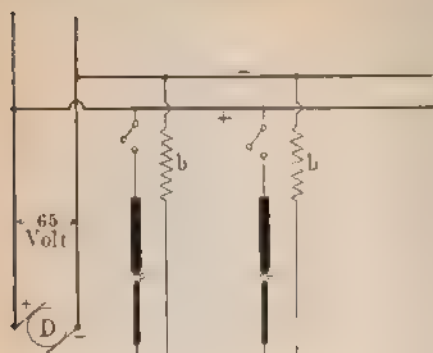


Fig. 339.

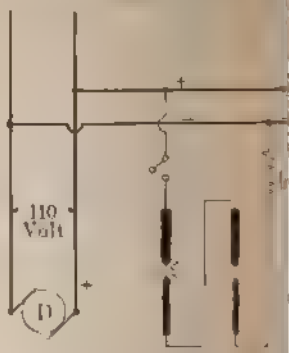
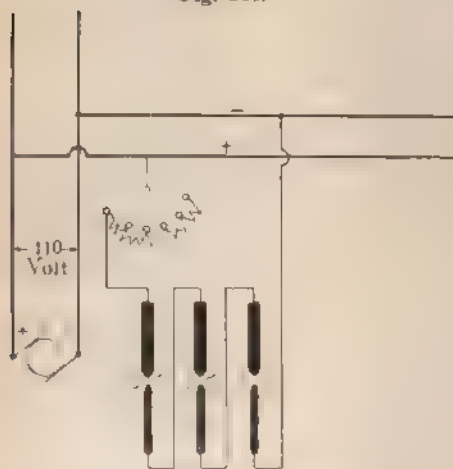


Fig. 340.



Bogenlampe oder Lampenreihe vorgeschaltet. Bei 110 Volt Netztension werden Dauerlampen (vergl. § 102) zeln, wie die Lampen Fig. 338, parallel geschaltet.

Für die unter 1. besprochenen Schaltungen können Nebenschluss-Differentiallampen verwendet werden. Schwankungen der Spannung im Leitungsnetz haben bei Nebenschlusslampen jedoch kleinere Schwankungen der Stromstärke zur Folge.

in den Differentiallampen (vergl. Görges, Elektrotechn. Zeitschr. S. 444).

In den Figuren 341 und 342 ist die Schaltung der Bogenlampen Dreiphasenstromleitungen dargestellt.

In Fig 341 hat der Anker der Dynamo Dreieckschaltung. Die Gruppen von Bogenlampen sind ebenfalls in Dreieckschaltung angeordnet. Bei 120 Volt kann man bis zu vier der in § 101 beschriebenen Differentiallampen, Modell R, in Reihe schalten. Dabei sind Sicherheitsapparate (Schlussvorrichtungen und Umschalter) in ähnlicher Weise anzubringen, bei den Gleichstromlampen.

In Fig. 342 haben dagegen die Phasen der Dynamo Sternschaltung und die Bogenlampen sind ebenfalls in Sternschaltung angeordnet.

denheiten in der Belastung der Phasen auszugleichen, ist die vierte Leitung angebracht, welche die Verkettungspunkte der Phasen des Ankers der Lampen miteinander verbindet.

Fig. 341.

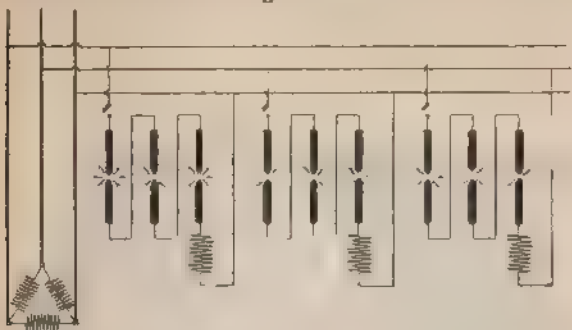


Fig. 342.



### C. Scheinwerfer.

§ 104. Normalmodell des Scheinwerfers G. 90 der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vormals Schuckert u. Co. Das Normalmodell G 90 (Fig. 343) des Scheinwerfers mit Glasparabolspiegel und Horizontallampe der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert u. Co. in Nürnberg besteht aus folgenden Hauptteilen:

1. Dem Gehäuse mit Glasparabolspiegel, Lampe und Lampenverbindung, Zentriersegment, Irisblende (Verdunkelungsapparat), Doppelter, Jalousiesignalerapparat und Beobachtungs- und Ventilationsrichtungen, sowie den zur Bewegung in der Vertikalen dienenden: Zapfen, Zapfenträger und Zahnsegment.
2. Dem Drehtisch mit den Tragarmen für die Zapfen des Gehäuses, Vorgelegen zur Vertikal- und Horizontalbewegung des Gehäuses Hand und mittels Elektromotoren, den Schleifbürsten, Kettenführern und den Krallen.

3. Dem Untersatze mit der Kugellagerung für den Drehschiff Traverse zur Aufnahme der Schleifringe und der Elektromotoren der Schneckenradachsen.

Das Gehäuse ist ein Blechcylinder mit horizontaler Achse; hinten derselbe durch einen Glasparabolspiegel mit seiner gusseisernen Fassung

Fig. 343



geschlossen, vorne an der Öffnung des Cylinders befindet sich die Irisblende der Doppelstreuer. Die optische Achse des Spiegels fällt mit der Achse des Blechcylinders zusammen. Im unteren Teile des Gehäuses befinden sich Klappen mit schmalen Schlitz, durch welchen die Kohlehalter in das Gehäuse hineinragen, so daß sie sich frei bewegen können. Die beiden Kohlehalter liegen in der Achse des Gehäuses, und der Lampenkörper (Fig. 344) kann auf den ihn tragenden Schienen in der Richtung der Spiegelachse verschoben werden, so daß jederzeit der Krater der positiven Kohle in den Brennpunkt des Hohlspiegels gebracht werden kann.

Die Lampe kann durch Drehen eines an der Außenwand ihres Gehäuses angebrachten Handrades mittels Schraubenspindel und Schneckenrad verschoben werden, bis der Krater der positiven Kohle in dem Brennpunkt des Spiegels liegt. Zur Vermeidung einer zu großen Erwärmung kann

Müsse Ventilationsöffnungen und oben ein Kamin angebracht. Beide sind richtig konstruiert.

Der Spiegel ist in Parabelform geschliffen und hat bei dem Modell G 90 einen lichten Durchmesser von 900 mm bei einer Brennweite von 420 mm.

Fig. 344

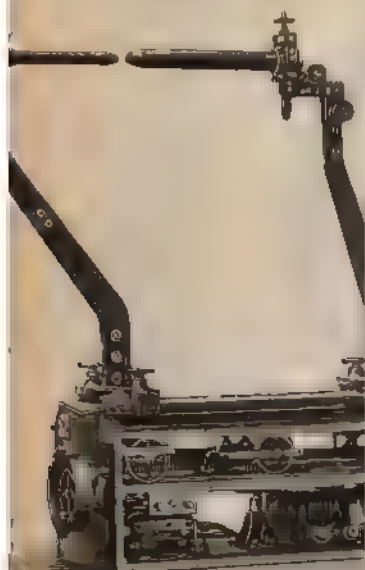


Fig. 345.



Zur längeren vollständigen Ablenkung des Scheinwerferstrahles dient Irisblende (D. R. P. Nr. 102155) (Fig. 345). Diese Vorrichtung besteht hauptsächlich aus zwei durch viele sichelförmige dünne Messingbleche einander verbundenen konzentrischen und gegeneinander beweglichen Ringen, von denen der eine meist am vorderen Rande des Scheinwerfers angebracht ist, während der andere Ring derselbe allein gegen den ersten gedreht werden kann. Beim Drehen des beweglichen Ringes legen sich die dünnen Messingbleche fächerförmig übereinander und verschließen vom äußeren nach der Mitte zu allmählich die Scheinwerferöffnung. In Fig. 346 ist das Modell G 90 mit halb geschlossener Irisblende dargestellt. In der Mitte selbst liegt eine Rolle mit keilförmiger Rille fest, welche auch bei geschlossener Blende kein Licht wegnimmt, da der zentrale Teil des Spiegels wegen auf ihn fallenden Schattens der negativen Kohle überhaupt kein Licht sendet. In die Rille dieser Rolle legen sich die Bänder der fächerförmigen Messingbleche und bewirken damit einen lichtdichten Abschluss. Zum Zentrieren des Lichtbogens ist eine besondere Vorrichtung erforderlich, weil durch den aufsteigenden heißen Luftstrom der Lichtbogen nach oben gezogen wird (siehe § 93), wobei die Kohlen einseitig abbrennen würden und eine unregelmäßige Kraterbildung entstünde. Zum Zentrieren des Lichtbogens möglichst nahe demselben, konzentrisch zur Kohlenachse, ein Segment aus gehärtetem Eisen, von etwa 240°, angebracht, das durch den Lampenstrom magnetisiert wird. Durch das entstehende Feld wird der Lichtbogen (siehe



§ 19) so weit nach unten gezogen, daß der Krater sich senkrecht zur Achse der Kohlen bildet.

Die horizontale Nebenschlußlampe ist sowohl für selbsttätige, als auch für Regulierung von Hand eingerichtet. Jede der beiden Regulierungsarten

Fig. 346.



kann vor dem Entzünden eingestellt werden, auch kann man während des Brennens von der einen Art zur anderen übergehen.

Die Einrichtung zum selbsttätigen Regulieren enthält im wesentlichen zwei Magnetsysteme (Fig. 347), von denen das eine (der Bogenbilder) beim Einschalten den Lichtbogen herstellt, während der andere (Nachschubmagnet) den Nachschub der Kohlen zum Brennen bewirkt. Der Bogenbilder ist aus eisenförmiger Magnetspitze mit den Schenken 1 und 2, dessen Bewegung im Hauptstromkreis liegt. Vor den Polschuhen dieses Elektromagneten schwingt ein zwischen Spitzen 13 und 14 gelagerter Eisenanker an dessen Rückseite zwei an der Lampenwand befestigte verstellbare Spiralfedern angreifen. Die

Schneckenwelle 4 ist so mit dem Eisenanker verbunden, daß die Bewegung des Ankers folgen muß.

An der vertikalen Achse 5 ist ein Schneckenrad 6 und ein Zahnradsystem befestigt; das letztere greift in die beiden Zahnstangen 8 und 9 ein, die an leicht verschiebbaren kleinen Wagen befestigt sind, welche die Kohlenstangen tragen. Den letzteren wird durch leicht biegsame Kabel direkt der Strom zugeführt.

An der unteren Lampenplatte befindet sich der Nachschubmagnet. Die Wicklung dieses hufeisenförmigen Magneten liegt im Nebenschluß zum Lichtbogen. Vor den Polen des Magneten ist ein zwischen Spitzen 12 und 13 angebrachter Eisenanker, welcher die Kontaktfeder 12 trägt. Durch zwei Schrauben und die verstellbaren Spiralfedern 16 wird der Anker gegen den Anschlag gezogen, wobei gleichzeitig die Kontaktfeder 12 sich gegen den Kontaktpunkt 13 legt. Am Kontakte 12 wird der Nebenschluß unterbrochen, sobald der Magnet den Anker anzieht; jedoch wieder hergestellt, wenn der Anker durch die Spiralfedern zurückgezogen wird. Am Anker ist ein Schneckenrad 19 befestigt, der beim Anziehen über ein auf der Schneckenwelle

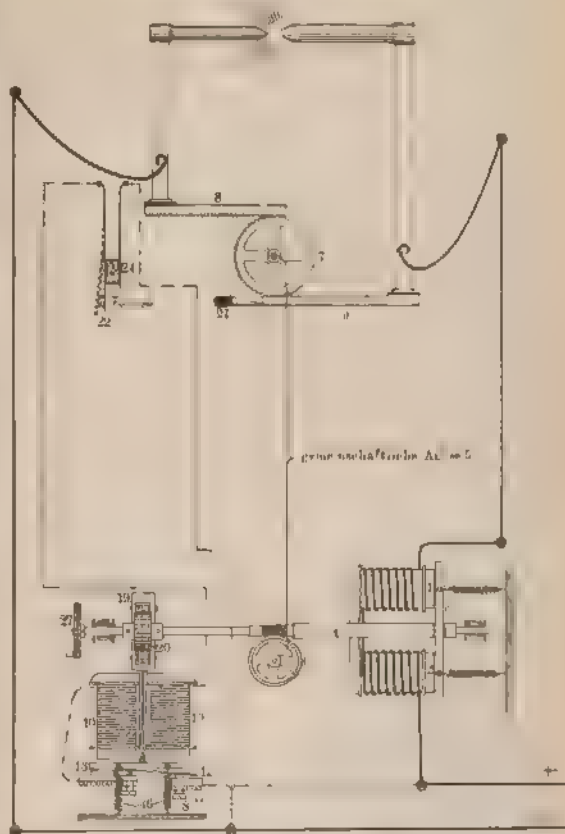


Sperrrad 20 weggelitet, dagegen beim Rückgang dieses Sperrrad, und somit eine Drehung der Schnecke 4 bewirkt. Durch das Rad 6 wird diese Drehung auf das Zahnrad 7 übertragen und auf so eine Annäherung der Kohlen bewirkt.

die Kohlen beim Einschalten der Lampe nicht in Berührung, so Anker des Nachschubmagneten in rasche Schwingungen versetzt

Fig. 347.

zwechsein-  
zen und  
des Stro-  
durch das  
20 und  
Zahnrad  
gedreht  
die Koh-  
Berührung  
Ist dies  
o wird der  
der Wicke-  
fachschub-  
nicht  
erbrochen,  
wird der  
er stark  
durch die  
er Bildung  
ogens auf  
ligen Ab-  
einander  
werden.  
nfolge des  
die Span-  
renz zwi-  
Kohlen zu  
orden, so  
erum der  
es Nach-  
neten in  
gesetzt,  
werden  
in der  
eschriebe-  
einander



die Kohlen bis zu einer bestimmten Länge abgebrannt, so wird es an den Halter der positiven Kohle angebrachten Stift der Stromschubmagneten durch Abheben der Feder 22 unterbrochen, wodurch Schubmagnet außer Tätigkeit gesetzt wird, und der Lichtbogen nach ist erloscht. Damit ist ein selbsttätiger Ausschalter in der Lampe.

die Regulierung der Lampe von Hand geschehen, so wird durch an der Rückwand der Lampe der Stromkreis des Nachschub- unterbrochen, in dem der Kontaktblock 24 von den beiden Federn in wird. Mittels des Handrades 27 kann dann die Regulierung von sehen.

Die Spannung, bei welcher die beschriebene Nebenschlusslampe, Modell G 80, regulieren soll, beträgt 53 Volt bei 100 Amp. Stromstärke.

Um einerseits einen möglichst schlanken Strahlkegel bei Fernbeleuchtung und beim Signalisieren zu haben, andererseits aber auch zur Beleuchtung näher gelegener Gebiete nach Belieben die Strahlen divergent machen zu können, dient der Doppelstreuer, der aus zwei parallelen Systemen plankonvexer Cylinderlinsen besteht, deren Achsen vertikal stehen. Die beiden Systeme können schnell voneinander entfernt und gegeneinander genähert werden. Dabei ist die Einrichtung des Doppelstreuers mathematisch getroffen, daß man in sehr kurzer Zeit von möglichst konzentrierten Lichtstrahl zu mehr divergentem und umgekehrt übergehen kann. Lagere man die einfache Streuer zur Ausbreitung des Scheinwerferstrahls ebenfalls in der Horizontalen, um einen festen Betrag, z. B.  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  u. v., derselbe besteht aus einem System plankonvexer Cylinderlinsen, welche in einem ruhenden Rahmen gefaßt sind.

Der Jalousie-Signalisierapparat dient zum Verdunkeln des Lichtstrahles beim Signalisieren auf große Entfernungen. Er besteht aus parallelen und vertikalen Stahlblättern, die auf vierkantigen Hohlwellestählen drehbar befestigt sind. Nach dem Durchgange durch das zweite System von Cylinderlinsen haben die Lichtstrahlen solche Richtung, daß sie mittelbar hinter (vom Lichtbogen aus gerechnet) den Linsenapparat entstehen, wo keine Lichtstrahlen vorhanden sind und in denen sich auch keine Stahlblätter befinden. Dadurch können bei offenem Signalisierapparat die Stahlblätter keine Lichtstrahlen zurückhalten. Werden mittels einer Handhabe die Stahlblätter gedreht, so kann eine zum Signalisieren geeignete Verdunkelung erreicht werden.

Das Scheinwerfergehäuse kann durch Elektromotoren gedreht werden von denen der eine das Gehäuse um eine horizontale Achse neigt, der andere den Drehtisch mit dem Gehäuse um eine vertikale Achse dreht. Die Motoren sind für Rechts- und Linkslauf eingerichtet, außerdem kann ihre Geschwindigkeit innerhalb weiter Grenzen geändert werden. Beide Motoren haben Nebenschlusswicklung und können dadurch rasch gebremst werden, das Nebenschluss nach dem Ausschalten kurzgeschlossen wird (vergl. § 5). Die Regelung der Geschwindigkeit der verwendeten Nebenschlussmotoren erfolgt dadurch, daß sowohl der Ankerstrom als auch der Magnetstrom verändert wird. Durch diese mit Elektromotoren angetriebene Bewegung kann von einem beliebigen Orte des Schiffes aus die Drehung des Scheinwerfergehäuses bewirkt werden. Beide Motoren sind vollständig eingekapselt, so daß keinerlei stromführende oder bewegte Teile freiliegen, sie haben Kugellagerung und Kohlebursten. Das Normalmodell G 80 hat einen Durchmesser von 600 mm. Durchmesser und verbraucht 60 Amp., das Modell G 100 einen Spiegel von 1100 mm Durchmesser und verbraucht 120 bis 130 Amp.

Für die Passage durch den Suezkanal wird von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert u. Co. ein Scheinwerfer G 40 mit einem parabolspiegel von 400 mm Durchmesser geliefert, welcher eine elektrisch und von Hand regulierbare Bogenlampe für 30 bis 35 Amp. enthält.

## Elftes Kapitel.

## Die Dynamos.

§ 105. Nach- und Vorteile des Gleichstromes und des Wechselstromes. Auf den Schiffen der Handels- und Kriegsmarine sind mit wenigen Ausnahmen nur Gleichstromdynamos für den elektrischen Betrieb aufgestellt.

Als Nachteile des Wechselstromes sind allgemein besonders folgende hervorzuheben:

Der Wechselstrom kann überhaupt nur in beschränktem Maße für leuchtende Zwecke verwendet, also auch ohne weiteres nicht zum Laden von Akkumulatorenbatterien gebraucht werden.

Der Wechselstromlichtbogen hat bei gleicher mittlerer Lichtstärke einen erheblich größeren spezifischen Verbrauch, als der Gleichstromlichtbogen; besonders eignet sich der letztere wegen der Lichtverteilung besser für Scheinwerfer. Wechselströme beeinflussen in der Nähe befindliche Telegraphenleitungen durch die Induktionsströme erheblich mehr als Gleichströme; dies ist besonders bei dem oft notwendigen engen Zusammenlegen der elektrischen Leitungen an Bord sehr zu beachten. Das Regulieren der Umdrehenzahl ist bei den Gleichstrommotoren bequemer auszuführen, als bei den Wechselstrommotoren. Letztere haben ferner einen nach ihrer GröÙe zwischen 0,85 und 0,95 veränderlichen Leistungsfaktor, so daß die wirkliche Leistung des Generators um 15 bis 5 Proz. kleiner ist, als die scheinbare Leistung. Letztere aber wird für die Konstruktion der Dynamo zu Grunde gelegt. Die Wechselstromdynamos müssen daher bei Motorenbetrieb um bis 15 Proz. größer gehalten werden, als für den Fall, daß der Leistungsfaktor = 1 ist, was bei reinem Glühlampenbetriebe eintreten würde.

Ferner ist das Parallelschalten der Wechselstromdynamos umständlicher als dasjenige der Gleichstrom- und Compounddynamos, weil die parallel zu haltenden Maschinen außer der gleichen Spannung auch gleiche Polwechsel und gleiche Phase haben müssen.

Die Verlegung von drei bezw. vier Leitern bei Anwendung des Dreileitersstromes, wie auf dem Reichspostdampfer „Königin Luise“, bietet auch Rücksicht auf die räumlichen Verhältnisse nicht unerhebliche Schwierigkeiten.

Das Berühren der Wechselstromleitungen ist schon mit Rücksicht auf die sehr beschränkten und oft sehr engen Maschinerräume an Bord gefährlicher, als das Berühren der Gleichstromleitungen mit derselben Spannungsspannungsspannung.

Dagegen bietet der Wechselstrom folgende Vorteile:

1. An den Wechselstrommaschinen ist die Stromabnahme sehr viel einfacher als bei den Gleichstrommaschinen, bei denen teure Kollektoren verwendet werden, die leicht bei Unachtsamkeit durch Funkenbildung zerstört werden.

2. In solchen Räumen, wo wegen der Anhäufung von leicht brennbaren oder explosiven Stoffen jede Funkenbildung vermieden werden muß, eignet sich am besten der asynchrone Drehstrommotor, weil er auch weniger Wartung als der Gleichstrommotor braucht, und seine Aufstellung daher auch an weniger leicht zugänglichen Orten geschehen kann.

3. Für die Energieübertragungen auf weite Entfernungen an Land ist die Anwendung hoher Spannungen Vorbedingung, die sich mit Wechselstrommaschinen sehr viel leichter als mit Gleichstrommaschinen erreichen lassen. Die höchste in Gleichstromdynamos zu erzeugende Spannung beträgt wohl 3000 Volt. Da man bei feststehendem Anker in den Wechselstromdynamos die Spulen sehr gründlich isolieren kann, und da der Kollektor ganz fortfällt, so lassen sich in Wechselstromdynamos von einer gewissen Größe an Spannungen von 10000 Volt und mehr erzeugen. Dazu kommt, daß der Wechselstrom durch Transformatoren leicht, einfach und sicher umgeformt werden kann. Überhaupt bietet der Wechselstromtransformator die Möglichkeit, die vorhandene Betriebsspannung in einfacher Weise in jede für den praktischen Gebrauch erforderliche Spannung zu verwandeln.

Der Vorzug der Wechselstrommotoren<sup>1)</sup>, daß sie keinen Einfluß auf die Kompassse haben, hat sich an Bord weniger geltend gemacht, da man mit den Motoren genügend weit von den Kompassen bleiben, ferner auch die Streuung der Gleichstrommotoren auf ein sehr geringes Maß reduzieren kann. Die Gleichstromleitungen in der Nähe des Kompasses werden so gelegt, daß Hin- und Rückleitung dicht zusammenliegen, eventuell verwendet man konzentrische Kabel.

Würde man an Bord der Kriegsschiffe für den Motorenbetrieb mehrphasigen Wechselstrom (Dreiphasenstrom) verwenden, so müßten für den Betrieb der Scheinwerfer besondere Gleichstromdynamos aufgestellt werden. Hierin würde für die Bedienung der Anlage eine nicht unerhebliche Komplikation liegen. Auch sind für den Betrieb sogenannte Doppelmaschinen in Vorschlag gebracht, welche sowohl Gleichstrom als auch gleichzeitig Drehstrom liefern. Gegen die Anwendung dieser Maschinen wird mit Recht geltend gemacht (vergl. Uthemann, Die Verwendung der Elektrizität auf Kriegsschiffen. Marine-Rundschau X, S. 155, 1899): 1. Die Zerteilung der Anlage führt zu einer Verringerung der Reserve, da das für die Beleuchtung vorhandene Netz keinen Strom für die Motoren geben kann. 2. Bei Störungen in der Erzeugung des Gleichstromes in der Maschine wird auch sogleich die Erzeugung des Drehstromes gestört. 3. Das komplizierte Leitungsnetz, und dann außerdem noch eine Reihe von Nachteilen des Wechsel- bzw. Drehstromes, die bereits vorhin im allgemeinen angeführt sind.

§ 106. Wahl der Betriebsspannung. Als Betriebsspannung wird neuerdings für den elektrischen Betrieb an Bord meist 110 Volt gewählt. Eine höhere Spannung, die den Vorteil schwächerer Ströme und damit auch eines geringeren Kupfergewichtes der Leitungen haben würde, läßt sich nur schwer anwenden, weil die Isolation der Schiffleitungen bei der Feuchtigkeit in der Mehrzahl der Räume nur bei Anwendung des besten Materials dauernd oberhalb eines bestimmten Betrages (vergl. § 144) gehalten werden kann. Bei dem meist beschränkten Raum für die elektrischen Leitungen läßt es sich häufig nicht vermeiden, daß dieselben in der Nähe von Dampföhrn oder Kaltwasseröhrn geführt werden. Erstere beschädigen durch ausstrahlende Wärme die Isolation, letztere sammeln auf ihrer Oberfläche fortwährend Feuchtigkeit an. Dazu kommt, daß die Leitungen vielfach auf den

<sup>1)</sup> Vergl. Uthemann, Verwendung der Elektrizität auf Kriegsschiffen. Marine-Rundschau X, S. 144 u. f., 1899.

Eisenteilen des Schiffes befestigt werden müssen; Isolationsfehler zwischen zwei Punkten der Leitung, zwischen denen eine merkliche Spannungsdifferenz vorhanden ist, werden also leicht zu einem Stromschluß bzw. Kurzschluß durch den Eisenkörper des Schiffes Veranlassung geben.

In Rücksicht auf den Betrieb der Scheinwerfer wählt man häufig noch als Betriebsspannung auf Kriegsschiffen 70 bis 80 Volt.

§ 107. Größe und Leistung der Dynamo. Sind zur Beleuchtung des Schiffes 800 Glühlampen à 25 N. K. erforderlich, und rechnet man für den spezifischen Verbrauch 3,4 Watt, so verbraucht die Glühlampe von 25 N. K. 85 Watt. Die gesamte Leistung der Dynamo würde 68 000 Watt sein. Verteilt man diese Leistung auf zwei Dynamos, so müßte jede bei der Polklemmenspannung 110 Volt eine Stromstärke bis zu  $\frac{34\,000}{110} \cong 300$  Amp. liefern können.

Für die Lampen, welche während des Tages brennen müssen, wird dann in den meisten Fällen eine der beiden Dynamos genügen; zur Zeit des Hauptlichtbetriebes sind beide Maschinen parallel geschaltet, oder die Stromkreise werden durch Umschalten (vergl. § 131) auf die beiden Maschinen möglichst gleichmäßig verteilt. Ist der totale Wirkungsgrad jeder der beiden Dynamos  $\eta = 0,84$ , so würde für jede Dynamo eine Betriebsmaschine von  $\frac{34\,000}{0,85 \cdot 736} \cong 55$  P. S. erforderlich sein.

In dem vorliegenden Falle gelangen vier- und für noch größere Leistungen sechs- und mehrpolige Dynamos zur Aufstellung, welche den Vorzug haben, daß bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit, wie bei den zweipoligen Dynamos, eine größere Leistung, als bei diesen, erreicht wird. Bei derselben Leistung dagegen haben die mehrpoligen Dynamos mit Parallelschaltung der Ankerstromzweige gegenüber den zweipoligen den Vorzug, daß jeder wirksame Leiter nur  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ , u. s. w. des Ankerumfangs zurückzulegen braucht, um den ganzen Kraftlinienfluß zweier nebeneinander liegender Pole zu schneiden, daß also ihre Umdrehungszahl kleiner ist. Dieses ist besonders wichtig für den direkten Antrieb der Dynamos.

Der Norddeutsche Lloyd schreibt für die Dynamos an Bord der Dampfer vor, daß Dynamos für eine Leistung bis zu 30 K. W. nicht mehr als 300 Umgänge, für 40 K. W. nicht mehr als 250 Umgänge und für 60 bis 70 K. W. nicht mehr als 200 Umgänge machen sollen.

§ 108. Aufstellung der Dynamos. Die Dynamos sollen in einem vom Maschinerraum leicht zugänglichen und gut ventilierten Raume aufgestellt werden. Der Dynamoraum muß vollständig gegen das Eindringen von Wasser durch überkommene Seen geschützt sein.

auch dürfen in denselben keine sich etwa entwickelnden explosiven Gas- oder ätzenden Dämpfe dringen können. Zum Zwecke der Reinigung und Reparatur der Dynamos soll der Raum für dieselben möglichst bemessen sein, daß Anker und Magnetspulen abgenommen werden können, ohne daß die Antriebsmaschine oder deren Rohrleitung entfernt wird.

Bei Aufsenpolmaschinen soll ferner das Magnetgestell zweigeteilt gemacht werden, damit leichter ein Nachpassen der Lager ausgeführt werden kann. Zwischen Dampfmaschine und Dynamo muß gegen spritzendes Wasser ein Schutzblech gebracht werden, das auch die Welle möglichst öldicht umschließt.

Die Dynamomaschine wird häufig mit ihrer Antriebsmaschine auf einer gemeinsamen Grundplatte mit Aufsenbocklager montiert. Die Wellen beider Maschinen sind möglichst durch Kuppelung miteinander zu verbinden. Zur Verminderung der Erschütterungen bringt man unter die gemeinsame Grundplatte Eisenfüß.

Bei der Aufstellung der Dynamo ist darauf zu achten, daß der Anker von der Seite des Kollektors leicht zugänglich ist.

§ 109. Prüfung der Dynamos. Wir beschränken uns auf die Prüfung der auf Seeschiffen am meisten gebräuchlichen Dynamos für Gleichstrom.

Bei der Prüfung der Nebenschluß- und Compounddynamos handelt es sich zunächst um die Ermittlung der auf S. 92 besprochenen Charakteristik. Unter den daselbst angeführten Verhältnissen wird die Dynamo, in etwa vier bis fünf Abstufungen, bis voll belastet oder entlastet und unter Benutzung eines Präzisionsvoltmeters und eines Präzisionsampèremeters wird die Charakteristik für die normale Tourenzahl des Ankers festgestellt. Fortwährend muß dabei die Tourenzahl des Ankers kontrolliert werden; kleine Abweichungen von der normalen Tourenzahl während des Probetriebes sind bei der Feststellung der Spannung zu berücksichtigen, indem die Polklemmenspannung annähernd proportional der Tourenzahl verändert. Immerhin ist während der Probe darauf zu halten, daß die Umlaufzahl des Ankers möglichst konstant bleibt.

Zur Feststellung der Verluste dient:

1. Die Leerlaufsmethode. Man läßt die Dynamo bei einer Spannung, welche ungefähr der normalen Polklemmenspannung desselben gleich ist, bei der vorgeschriebenen Tourenzahl als Motor laufen und bestimmt den Energieverbrauch durch Messung des Stromverbrauches und der Polklemmenspannung. Die Ausführung dieser Methode, wie die Aufnahme der Charakteristik überhaupt, scheint sich am besten an einen mehrstündigen Betrieb mit Volllast anzuschließen, dem alle stromführenden Teile sich im betriebswarmen Zustande



finden. Der Energieverbrauch, vermindert um den Verlust in der Ankerwicklung und in den Magnetspulen, stellt dann den durch Lager-, Luft- und Bürstenreibung, sowie durch Hysteresis und Wirbelströme bedingten Verlust dar. Die Änderung dieses Verlustes mit der Belastung bleibt unberücksichtigt.

Zur Ermittlung der Verluste im Anker und in den Magnetspulen sind die Widerstände derselben im betriebswarmen Zustande zu messen; ferner ist die Stromstärke in den Magnetspulen zu bestimmen.

Beispiel: Eine Nebenschlufdynamo liefert bei 1100 Umdrehungen des Ankers in der Minute und bei der Polklemmenspannung 150 Volt den Strom 30 Amp. in die äußere Leitung. Dabei ist der Ankerwiderstand (warm)  $r_a = 0,4 \Omega$ , der Strom in den Magnetspulen 1,5 Amp. Um den Wirkungsgrad zu ermitteln, läßt man die Maschine bei 151,2 Volt Klemmenspannung als Motor leer laufen, so daß der Anker ebenfalls 1100 Umdrehungen pro Minute macht und dabei den Strom 2,1 Amp. aufnimmt, während die Magnetspulen aus ihrer Verbindung mit dem Anker losgelöst sind und von einer fremden Stromquelle den Strom 1,5 Amp. erhalten.

Die Nutzleistung der Dynamo ist 4,5 K.W. Der aus dem Anker der Dynamo bei normaler Belastung fließende Strom ist 31,5 Amp., dabei ist der Energieverlust im Anker  $31,5^2 \cdot 0,4 = 397$  Watt, während der Energieverlust in den Magnetspulen  $1,5 \cdot 150 = 225$  Watt beträgt. Die gesamte, von der Dynamo gelieferte elektrische Energie ist also 5122 Watt, demnach ist der elektrische Wirkungsgrad derselben  $\frac{4500}{5122} = 0,878$ . Ist  $L$  der durch Reibungswiderstand, Magnetisierungsarbeit u. s. w. (s. S. 96) entstehende Verlust, so ist, von der Änderung der Ankerrückwirkung (§ 45) abgesehen,

$$L = 151,2 \cdot 2,1 - 2,1^2 \cdot 0,4 = 316 \text{ Watt.}$$

Für den totalen Wirkungsgrad (siehe S. 96) erhalten wir also

$$\eta = 0,827.$$

Der Widerstand des Nebenschlusses, welcher im betriebswarmen Zustande gemessen werden muß, ergibt sich indirekt nach dem Ohmschen Gesetze aus der Klemmenspannung und der Stärke des Stromes in den Magnetspulen. Dabei kann derjenige Widerstand des Nebenschlufregulators für die Berechnung des Energieverbrauches angenommen werden, der bei voller Belastung eingeschaltet ist.

Der Ankerwiderstand kann mit einer für die meisten Fälle ausreichenden Genauigkeit ebenfalls auf indirektem Wege gemessen werden. Durch den warmen und festgekeilten Anker läßt man bei nicht erregtem Magneten einen bekannten Strom  $i$ , am besten aus einer Akkumulatorenbatterie, fließen und bestimmt die Spannungsdifferenz  $e_0$  zwischen den Bürsten. Der Ankerwiderstand, einschließlich des Übergangswiderstandes zwischen den Bürsten und dem Anker, ist dann  $e_0/i \Omega$ . Bei netzpoligen Ankern mit Parallelschaltung nimmt man zur Stromzuführung und Ableitung bei dieser Messung nur zwei diametral liegende Bürsten, während die übrigen Bürsten abgehoben sind. Ist  $r$  der Widerstand zwischen den beiden Bürsten, und bezeichnen wir den Widerstand jedes Ankerstromzweiges mit  $w$ , so ist bei  $2p$  Polen für die Schaltung während der Messung

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{pw} + \frac{1}{pw}, \text{ also } r = \frac{p}{2} w$$

(vergl. § 16). Da im Betriebe  $2p$  Ankerstromwege parallel geschaltet sind,



von denen jeder den Widerstand  $w$  hat, so ist der Ankerwiderstand  $\alpha = \frac{r}{2p}$   
 oder  $w = \frac{r}{p}$ .

Vor der Messung ist der Kollektor zu reinigen, so daß die Bürsten mit geringstem Widerstande aufliegen. Zweckmäßig beobachtet man für verschiedene Stellungen der diametral liegenden Bürsten, um unregelmäßige Übergangswiderstände zu eliminieren. Dabei sollen die Bürsten gut eingelaufen sein.

Die Prüfung der Dynamo muß sich ferner auf die Messung der Temperatur des Ankers und der Magnetspulen nach mehrstündigen Betriebe bei voller Belastung erstrecken. Hierfür gelten auch die auf S. 138 erwähnten Bestimmungen über die Temperaturerhöhung.

Im Betriebe dürfen Überlastungen der Dynamo nur so kurze Zeit und nur bei solcher Temperatur der Maschinen stattfinden, daß die auf S. 138 angegebene Grenze der Erwärmung nicht überschritten wird. Im allgemeinen ist zu fordern, daß Dynamos, die um 25 Proc. während einer halben Stunde überlastet sind, nicht über die vorgeschriebene Temperatur hinaus sich erwärmen.

2. Indikatormethode. Wenn die Dynamo von der Dampfmaschine direkt angetrieben wird, und die Verbindung zwischen beiden nicht gelöst werden kann, so muß der Wirkungsgrad ohne Rücksicht auf die Reibung ermittelt werden. Die Verluste durch Hysteresis und Wirbelströme werden bei leer laufender Dynamo dadurch bestimmt, daß man die Leistung der Dampfmaschinen bei erregtem und bei nicht erregtem Magneten durch Indikatordiagramm feststellt. Bei diesen Messungen muß der Anker seine normale Tourenzahl haben, und bei erregtem Felde muß sich die normale Polklemmenspannung ergeben. Liefert die Dampfmaschine den zur Erregung der Magnete erforderlichen Strom, so wird die hierfür verbrauchte Leistung in Abzug gebracht. Die Differenz stellt den durch Wirbelströme und Hysteresis bei Leerlauf bedingten Verlust dar; dieser Verlust wird als unabhängig von der Belastung der Dynamo angesehen. Die Erregungsverluste im Anker und in den Magnetspulen bei normaler Belastung werden wie vorher ermittelt. Der im Nebenschlußregulator entstehende Verlust wird dem in den Magnetspulen auftretenden zugerechnet. Die Summe der genannten Verluste bezeichnet man als „meßbaren Verlust“. Der Wirkungsgrad ist dann das Verhältnis der Nutzleistung zur Summe von Nutzleistung und meßbarem Verlust.

Diese Methode ist nur mit großer Vorsicht wegen der bei Laufdiagrammen auftretenden Ungenauigkeiten zu gebrauchen.

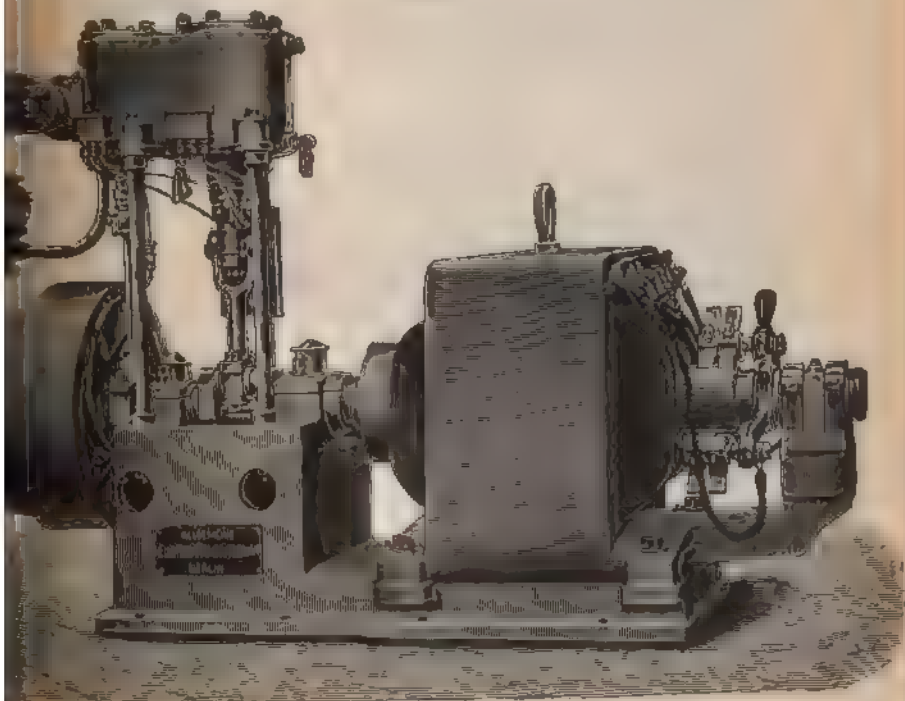
§ 110. Beschreibung spezieller Dynamos. 1. Dynamo der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin. Fig. 348, Modell DD der „Encylinder-Dampfdynamomaschine“ dar. Die Dynamo zweipolig (Typus NG,

Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung über Größe, Leistung, Kraftbedarf u. s. w.

Cylinderdurch- messer	Hub	Gesamtfullungs- grad in Proz.	Ständlicher Dampf- verbrauch in kg pro indiz. P. S.		Modell der Dynamo	Spannung in Volt	Stromstärke in Ampère	Gesamtleistung in Watt ca.	Umdrehungen pro Minute	Kraftbedarf in P. S.	Gewicht der kompletten Dampf- dynamo		
			mit Kon- dens.	ohne Kon- dens.							netto ca. kg	brutto ca. kg	
50	120	100	20—30	13,5	17	N.G. 50	{ 85 110	80 30	3900 3300	750 650	8,2 5,3	900	1300
75	150	100	20—30	13,5	17	N.G. 75	{ 85 110	75 37	4875 4070	580 500	7,5 8,5	1240	1700
90	170	120	20—30	13	18,5	N.G. 100	{ 85 110	100 50	6500 5500	500 470	10,5 9	1720	2280
125	170	140	20—30	12,9	16,4	N.G. 125	{ 110	61	6710	480	11	2180	2720

Fig. 349 (a. f. S.) stellt das Modell CSD der Compound-Dampfdynamo dar. Die Dynamo (Modell SG) ist vier- oder mehrpolig.

Fig. 348.



In der Tabelle S. 271 sind die Größen, Leistungen und Gewichte der Dampfmaschinen Modell CBD zusammengestellt.

2. Dynamos von Siemens und Halske, A.-G., Berlin. Die Gleichstromdynamomas, Modell EA und LA (Fig. 350), besitzen meist Nebenschwächung, können auch mit gemischter Bewicklung der Magnete geliefert werden.



Die in der Tabelle S. 272 angegebenen Leistungen gelten für den Betrieb und zwar bei höchster Tourenzahl; Leistung und Kraftbedarf ist sich proportional der Tourenzahl. Die in der Tabelle angegebene Spannung kann nur bei der höchsten Tourenzahl erreicht werden, bei niedrigerer Tourenzahl sinkt die erreichbare höchste Spannung proportional der Tourenzahl.

Größe	Cylinder- durch- messer mm	Hub mm	Gesamt- füllungs- grad in Proz	Dampfverbrauch in Kilogramm pro indiz. P.S.		Modell der ver- wendeten Dynamo- maschine	Span- nung in Volt	Strom- stärke in Amp.	Gesamt- leistung in Watt	Um- drehen- gen in der Minute	Kraft- bedarf P.S	Gewicht der kompletten Dampf-Dynamo- maschine	
				mit Konden- sation	ohne Konden- sation							netto etwa kg	brutto etwa kg
CSD 150	130/220	140	10—15	10	13,8	SG 150	85 120	167 84	10 850 10 080	480 500	18,5 17	2 010	2 700
CSD 200	140 230	140	10—15	9,6	11,2	SG 200	65 120	225 112	14 625 13 440	450 440	23,5 21,5	2 760	3 700
CSD 300	190/310	160	10—15	9,3	12,8	SG 300	65 120	300 150	19 500 18 000	400 390	31 29	3 510	4 700
CSD 400	200/330	180	10 15	9	12,5	SG 400	65 120	400 200	28 000 24 000	360 355	41,6 37,5	4 810	6 000
CSD 500	250/370	200	10—15	9	12,5	SG 500	65 120	500 250	32 500 30 000	335 310	50 47	5 340	6 900
CSD 600	260/420	200	10—15	8,8	12,2	SG 600	120	335	40 200	320	62	6 000	7 800
CSD 700	280/470	220	10—15	8,7	12	SG 700	120	545	65 300	360	100	7 700	10 000
CSD 800	330/530	250	10—15	8,6	11,8	SG 800	120 240	540 270	64 800 64 800	250 250	100 100	8 950	11 600
CSD 1000	370/600	300	10—15	8,4	11,5	SG 1000	120	700	84 000	200	127	12 300	16 000
CSD 1000	370/600	350	10—15	8,3	11,4	SG 1000	240	415	100 000	175	150	16 200	21 000
CSD 1250	400/650	350	10—15	8,2	11,2	SG 1250	120 240	975 490	116 000 116 000	200 200	175 175	13 200	23 600

Modell	Höchste Tourenzahl pro Min.	Bei höchster Tourenzahl					Gewicht der ganzen Dynamo		Gewicht des Ankers	
		Leistung Kilowatt	Kraftbedarf P. S.	Wirkungsgrad etwa Proz.	höchste Spannung Volt	höchste Stromstärke Ampere	netto kg	brutto kg	netto kg	brutto kg

## Gleichstrom-Dynamos Modell E.A.:

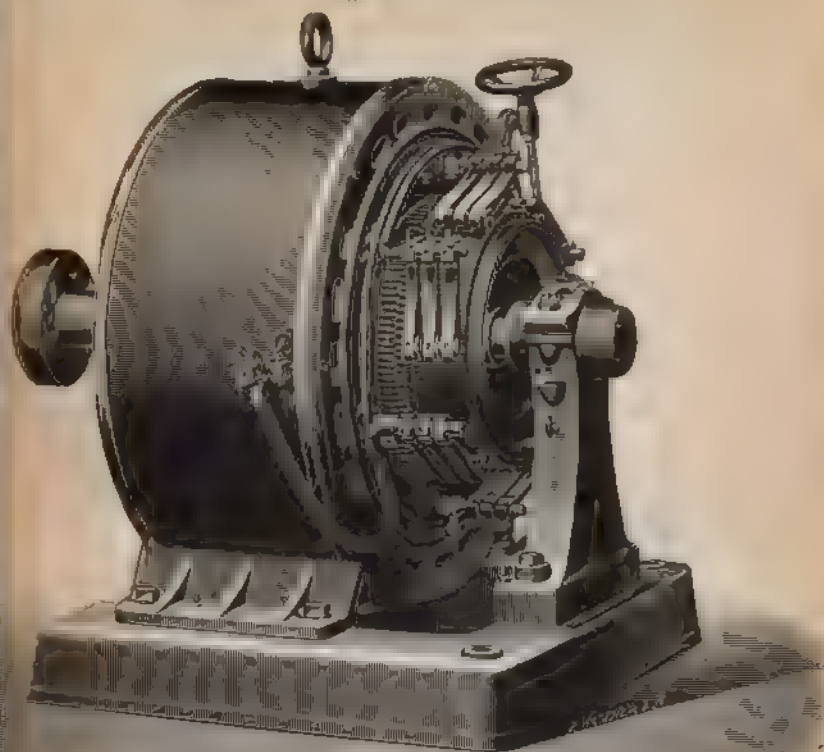
E.A. 11 . . .	750	3,5	4,5	75	110	80	200	250	85	110
E.A. 14 . . .	750	5	9	77	110	60	340	400	150	180
E.A. 17 . . .	550	7	12	80	110	90	750	850	320	370

## Gleichstrom-Dynamos Modell L.A.:

L.A. 20 . . .	450	12	18,5	84	150	150	1000	1100	420	480
L.A. 25 . . .	450	10	24,5	88	150	180	1100	1200	470	540
L.A. 26/11 . . .	400	20	30,5	88	200	210	1200	1350	510	600
L.A. 26/16 . . .	350	25	38	89	250	210	1300	1450	550	650
L.A. 26/20 . . .	350	34	51	89	300	210	1500	1700	640	750
L.A. 32 . . .	350	45	67	90	350	250	1800	2250	770	920
L.A. 36 . . .	350	60	90	91	400	350	2100	2600	900	1080
L.A. 42 . . .	350	80	118	92	500	400	2600	3500	1100	1800

Fig. 350 zeigt die Ausführung mit Sattel, einem Lagerbock und Welle, auf dem Fundamentrahmen der Betriebsmaschine montiert.

Fig. 350.



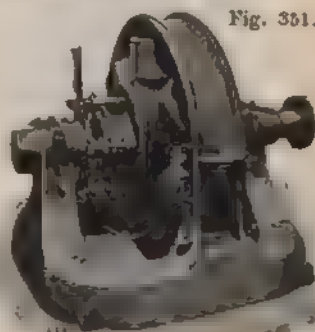
3. Dynamos der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft für direkte Kuppelung Gleichstrommaschinen für direkte Kuppelung mit der Betriebsmaschine werden im allgemeinen bis zu einer Leistung von 150 KW in der Ausführungsform MP (Fig. 351) gefertigt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Maschinen der Type MP bei Leistungen von 25 KW bis 150 KW in Leistung, Umdrehungszahl des Motors und der Wirkungsgrad bei verschiedenen Belastungen zusammengestellt.

Die Stromabnahme erfolgt durch Kohlenbürsten. Die Maschinen zeichnen sich durch gedrungene Bauart, geringen Raumbedarf und durch hohen Nutzeffekt aus, ferner durch eine große

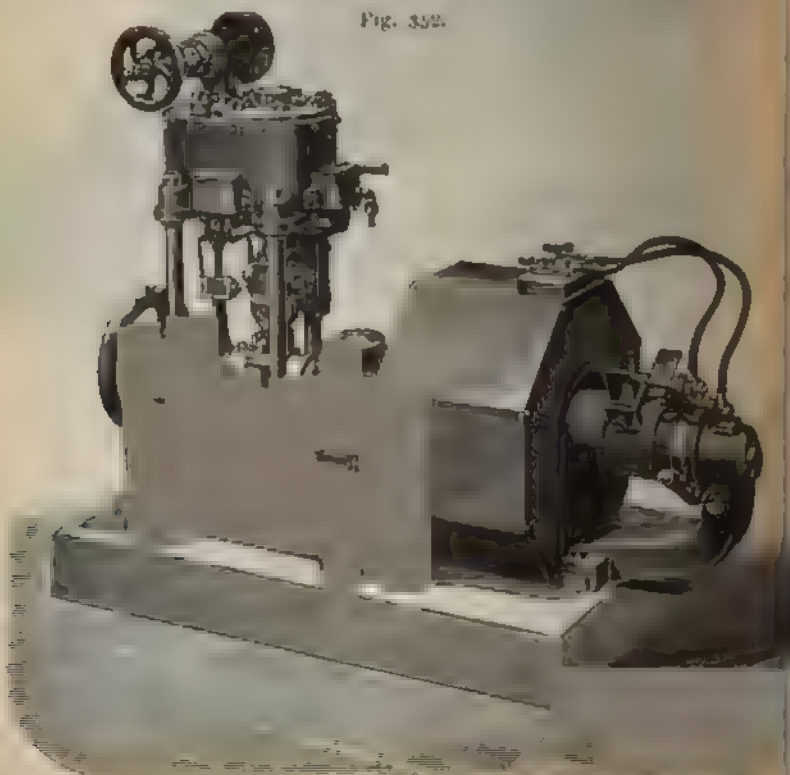
Müller, Elektrotechnik.

Fig. 351.



Type	Bezeichnung			bei Normalspannung und Vollast			Wirkungsgrad bei Belastung in Prozenten			Kraftbedarf in P. S.	Gewicht in Kilogramm	
	Polzahl	KW	Umdrehungen in der Minute	Leistung in KW	Umdrehungen in der Minute	Stromstärke in Ampere	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	Anker	Gesamt als Ausbaueinheit nach IX	
Normalspannung 115 Volt.												
M P	6	25	275	25	300	218	81	90	85	38	700	210
M P	6	40	240	40	240	350	91	90	85	60	900	270
M P	6	50	180	50	180	435	91	90	85	75	1300	450
M P	6	75	180	75	180	650	92	91	87	111	2500	570
M P	8	100	225	100	225	870	92	91	87	148	2400	590
M P	8	100	180	100	180	870	92	91	87	148	2500	590
M P	8	100	150	100	150	870	92	91	87	148	2000	700
M P	8	150	150	150	150	1300	93	92	89	220	4400	1150

Fig. 352.

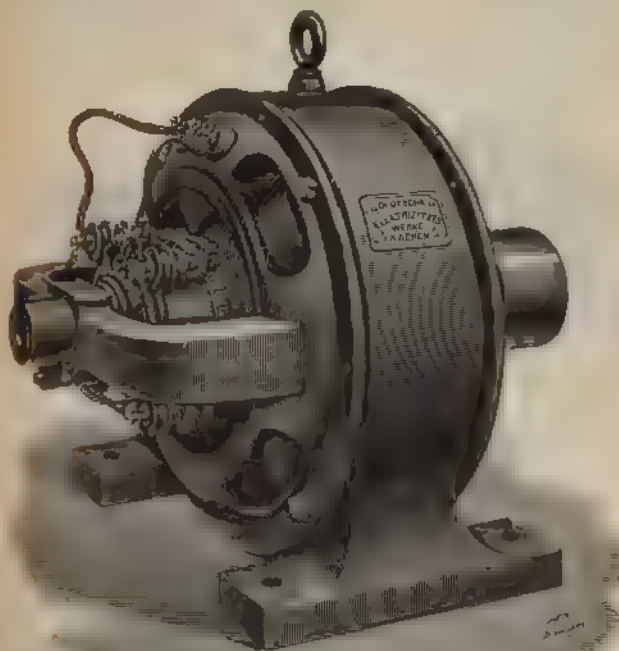




Überlastungsfähigkeit bei mäßiger Erwärmung. Bei den Maschinen der Type MP wird das Magnetgestell aus zwei Teilen hergestellt, dies geschieht stets für Magnetgestelle von mehr als 1000 mm Durchmesser.

4. Dynamomaschinen von G. Conz, Hamburg, Elektrizitätsgesellschaft m. b. H. Die Dynamos, sowie die Motoren, sind ausschließlich aus Stahlguss angefertigt und haben bei niedriger Tourenzahl sehr kleine Abmessungen, sowie geringes Gewicht bei großer elektrischer Leistung; sie

Fig. 359.



sind daher in engen Räumen, auf Schiffen sehr gut verwendbar. Durch die Wahl des Mantel-Typus ist die Streuung der Kraftlinien auf das geringste Maß reduziert, auch sind die empfindlichen Teile (Anker, Magnetspulen) vor Beschädigungen geschützt, während Lager und Kollektor leicht zugänglich sind. Der sorgfältig mit Glimmer isolierte Kollektor ist aus einer besonderen Komposition hergestellt, so daß er wenig abgenutzt wird. Die Anker werden als Trommel- und als Ringanker ausgeführt.

Fig. 352 stellt den Normaltypus (2,5 P.S.) der Dampfmaschinen auf Torpedobooten dar. Die Dampfmaschinen werden bei kleineren Ausführungen und geringem Dampfdruck einzylindrig, bei größeren Ausführungen und größerem Dampfdruck zweizylindrig als Zwillings- und als Verbundmaschinen gebaut. Der Anker der Dynamo kann behufs Revision oder zum Abdrehen des Kollektors sehr leicht aus der Maschine herausgenommen werden und zwar durch Lösen einer einzigen Verschraubung.

5. Dynamomaschinen der Deutschen Elektrizitätswerke zu Aachen, Garbe, Lahmeyer u. Co. in Aachen. Die Gleichstrommaschinen

der D. E. W. Aachen sind Außenpolmaschinen: die kleinen sind zweipolig, bis etwa 70 K. W. vierpolig und bei großen Leistungen acht- und mehrpolig. Das Magnetsystem umschliesst die ganze Maschine und schützt somit in einfacher und wirksamer Weise die verschiedenen Wickelungen.

Fig. 353 stellt eine vierpolige Nebenschlussdynamo, Modell V 17 bis 160 dar, die auch in direkter Kuppelung mit einer eingleitigen oder Compound-Dampfmaschine verbunden wird.

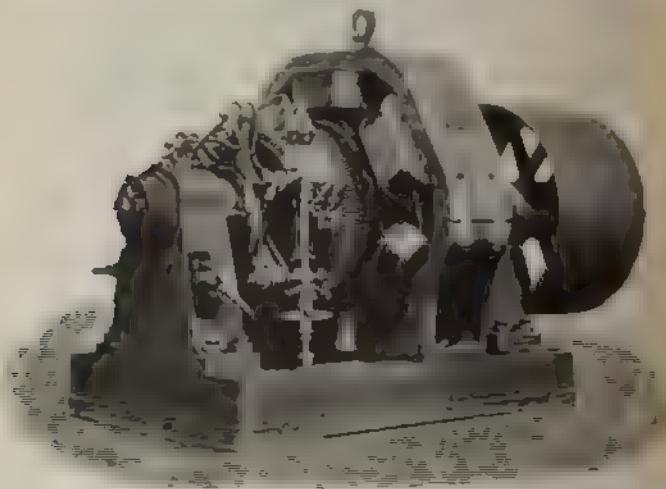
6 **Dynamomaschinen der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vormals Schuckert u. Co., Nürnberg.** Fig. 354 stellt das Modell A  $\frac{1}{10}$  bis 14 und Fig. 355 das Modell A 160 dar. Beide Modelle gehören zu dem Außenpoltypus. Die Ankerwicklung ist meistens als Trommelwick-

Fig. 354.



lung ausgeführt und zwar besteht dieselbe bei mittleren und großen Dynamos entweder aus einer Lage rechteckiger Stäbe (Stabwicklung) und evolventenformig gebogenen Blechen, durch die je zwei Stäbe an den Stirnflächen mit einander verbunden werden, oder, bei hohen Spannungen, aus einer Anzahl

Fig. 355.



rahmenförmiger Spulen, die vor dem Auflegen auf einer Schablone gewickelt und dann sorgfältig isoliert werden. Die Bleche und Drähte an den Stirnflächen sind frei durch die Luft geführt und bilden einen ventilatorähnlichen Körper, durch den während des Betriebes die Luft mit großer Geschwindigkeit hindurchstreicht, wodurch eine wirksame Kühlung erzielt wird.

Besonders beachtenswert sind die sogenannten Doppelbürsten, die die Vorteile der Kohle in bezug auf geringe Funkenbildung mit denjenigen der Metallbürste in bezug auf großes Leitungsvermögen vereinigen, und die Funkenbildung überhaupt nicht zustande kommen lassen. Die Doppelbürste besteht aus einer Metallbürste und einem an demselben Halter befestigten und auswechselbaren Kohlekontakt, der unmittelbar vor dem vorderen Rande der Metallbürste auf dem Kollektor aufliegt.

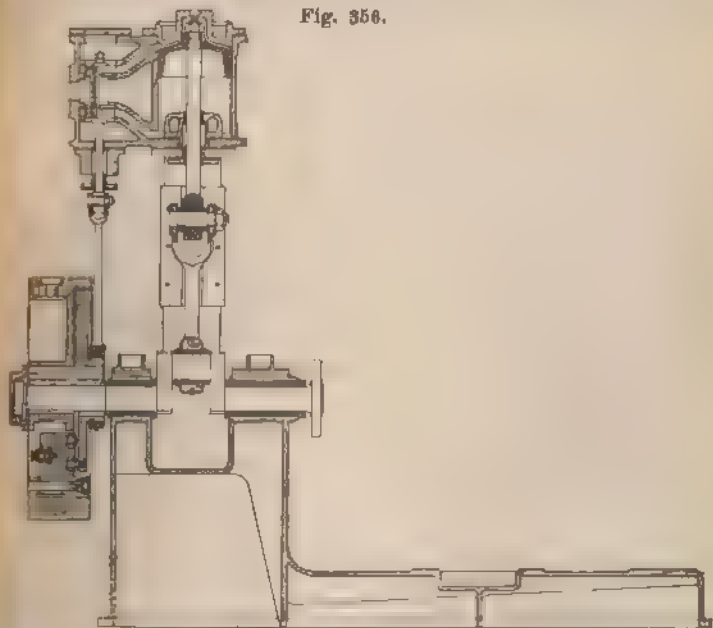
Bei kleinen Maschinen besteht das Magnetgestell aus einem Stücke, bei größeren aus zwei zusammengepaßten Hälften. Das Magnetgestell wird aus weichstem Flußeisen gegossen.

## Zwölftes Kapitel.

### Betriebsmaschinen.

§ 111. Dampfmaschinen. Bei der Einführung der elektrischen Beleuchtung auf Schiffen entwickelte sich das Bedürfnis, Dampfmaschinen zu konstruieren, die zur direkten Kuppelung mit den Dynamos mit einer hohen Umdrehungszahl arbeiten. Für den Betrieb

Fig. 356.



an Dynamos ist dabei die Anwendung eines in allen Lagen sicher funktionierenden Regulators erforderlich.

Wir geben im Nachfolgenden die Skizzen und 1 Dampfmaschinen.

1. Dampfmaschinen der Kieler Maschinenbau-Gesellschaft vormals C. Daewel. In der nachfolgenden sind die Dimensionen und Leistungen der eincylindrigen bei verschiedenen Tourenzahlen und den Dampfspannungen zusammengestellt:

Nr.	Cylinder- durch- messer mm	Hub mm	Um- drehungen pro Minute	Normalleistung in effekt. P ohne Kondensation bei ein Dampfspannung				Atmosphären im Schieber
				4	5	6	7	
1	100	100	{ 600 400	3 ■	3,5 2,4	4 2,7	4,5 ■	-
2	125	100	{ 600 400	4,5 3	5,5 3,7	6 4	— —	-
3	150	150	{ 400 300	7 5	8 6	9 7	10 8	1
5	200	200	{ 300 225	12 9	14 10	16 12	18 13	2 1
7	250	250	{ 240 180	19 14	22 16	25 19	28 21	3 2
■	275	250	{ 240 180	23 17	26 19	30 22	— —	-
9	300	300	{ 220 155	30 23	■ 26	40 30	■ 34	5 3
11	350	350	{ 200 150	48 34	52 39	59 44	67 50	7 5
13	400	400	{ 180 135	62 48	■ 54	81 60	92 69	10 7
14	425	400	{ 180 135	71 53	81 61	92 59	104 ■	-

In Fig. 356 ist eine Schnittzeichnung dieser eincylindrigen Maschinen gegeben.

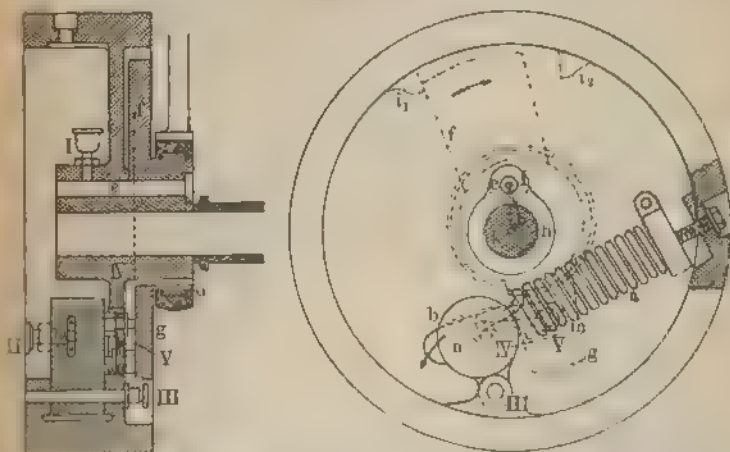
Die nachfolgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der Dimensionen, Leistungen u. s. w. der Compoundmaschinen für einen Dampfdruck von 7 bis 8 Atm. im Schieber.

Bei den Dampfmaschinen der Kieler Maschinenbau-Gesellschaft kommt auch der patentierte Schwungrad-Regulator Nr. 74769 zur Anwendung, der sich durch seine außerordentliche Regulierung und große Einfachheit auszeichnet. Der Regulator flusst durch Verdrehen des den Schieber bewegenden Excenters sowohl der Hub als auch der Voreilwinkel des Excenters vor, die Verteilung des Dampfes im Cylinder (Fig. 357).

Touren pro Minute	Maximal- leistung	Cylinder- durch- messer	Hub	Regu- lator	Raumbedarf der Dampfmaschine			Unge- fährtes Gewicht
					Länge	Breite	Höhe	
t. p. m.	eff HP.	mm	mm	Art	mm	mm	mm	kg
350	8	100 . 170	100	Pröll	1100	600	950	530
500	10	100 . 170	120	"	1200	700	1000	680
500	15	120 . 200	140	"	1450	800	1050	1020
450	20	140 . 230	180	"	1500	850	1100	1170
450	25	160 . 260	160	"	1550	850	1150	1420
450	30	180 . 290	180	"	1600	900	1200	1560
450	35	190 . 310	180	"	1650	900	1200	1760
425	45	260 . 330	180	"	1800	950	1250	1950
425	55	230 . 370	180	"	1850	950	1300	2240
350	70	260 . 420	200	"	1950	1000	1500	2930
300	90	300 . 470	250	"	2150	1200	1800	3920
250	100	310 . 510	300	"	2350	1500	2100	4900

Eine Gelenkstange *c* ist einerseits durch den Zapfen *m* mit dem an das Excenter angeschlossenen Trägheitsgewicht *g* und andererseits durch den Zapfen *n* mit dem durch die Feder *a* gehaltenen Gewichte *h* in Verbindung. Schlägt bei Überschreitung der normalen Tourenzahl das Gewicht *h* aus, so muß das Excenter *d* um den Zapfen *e* gedreht werden.

Fig. 357.



An das Excenter ist außer *g* noch das Trägheitsgewicht *f* angeschlossen; beide Gewichte, *f* und *g*, bilden zusammen einen Momentregulator, der den Centrifugalregulator bei plötzlicher und bedeutender Änderung der Leistung unterstützt und einen größeren Tourenunterschied vermeiden soll. Durch die Knaggen *i*, und *j* wird der Anschlag des Regulators begrenzt.

Während der Centrifugalregulator durch Zu- und Abnahme der Centrifugalkraft betätigt wird, wirkt der Momentregulator durch seine Trägheit

Macht z. B. die Maschine die der Mittelstellung des Regulators entspricht Tourenzahl und wird plötzlich die Belastung erheblich vermindert, so

Fig. 358 a.

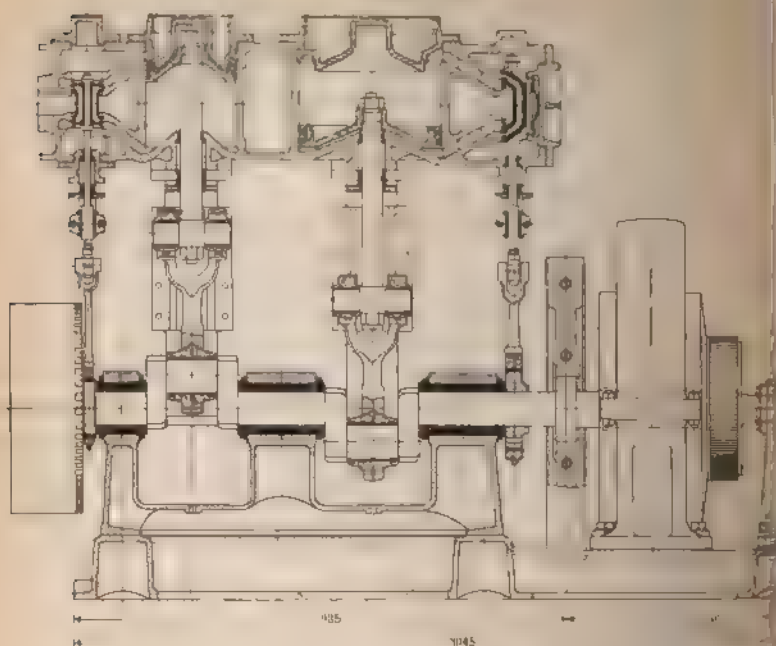
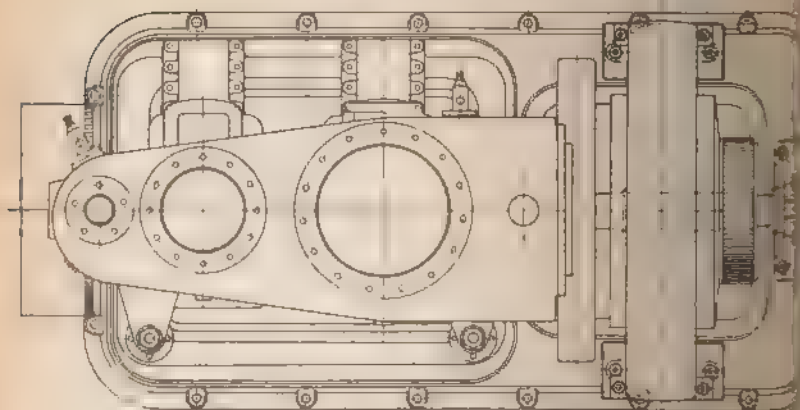


Fig. 358 b.



steht augenblicklich eine Erhöhung der Winkelgeschwindigkeit. Die Belastungsgewichte  $f$  und  $g$  würden zunächst an dieser Steigerung der Winkelgeschwindigkeit

schwindigkeit nicht teilnehmen, sondern bei der Drehung etwas zurückbleiben, bis sich  $f$  an  $e_2$  legt. Dabei wird das Excenter in der Pfeilrichtung gedreht.

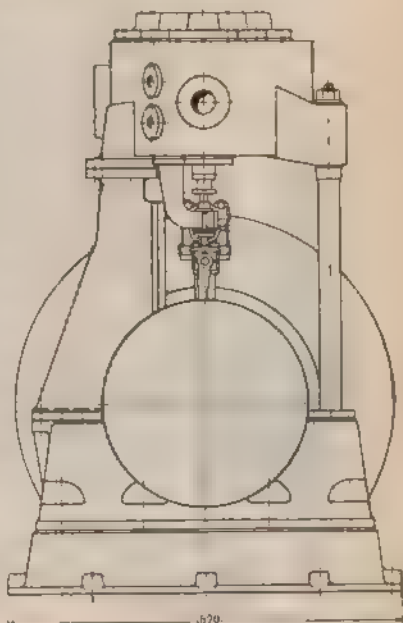
Gleichzeitig tritt aber auch der Centrifugalregulator in Tätigkeit, indem das Gewicht  $b$  in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung ausschlägt, aber ebenfalls, und zwar in dem gleichen Sinne wie durch den Momentregulator, das Excenter verdreht wird. Der Momentregulator soll der Hauptsache nach den Centrifugalregulator bei großen Änderungen der Belastung unterstützen.

2. Dampfmaschinen der Maschinenfabrik J. Frerichs u. Co. Osterholz-Scharmbeck. In Fig. 358 ist eine Compoundmaschine

hergestellt von 350 und 555 mm Zylinderdurchmesser und 260 mm Hub. Vier dieser Maschinen sind für die elektrischen Anlagen auf dem Schnelldampfer „Kronprinz Wilhelm“ geliefert, und fünf Maschinen derselben Art werden für den noch im Bau befindlichen Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm II.“ des Norddeutschen Lloyd hergestellt. Die Maschinen sind mit Achsenregulatoren nach Patent Stein ausgestattet und arbeiten im Niederdruck mit etwa 20 Proz. und im Hochdruck bei größeren Füllungen mit etwa 14 Proz., bei kleinen Füllungen mit etwa 10 Proz. Kompression. Die Füllung wird, wie bei allen Achsenregulatoren, direkt durch Veränderung des Voreilwinkels und

Excentrizität am Hochdruck-Excenter, vom Regler bewirkt zwischen 0 und 55 Proz.

Fig. 358 c.



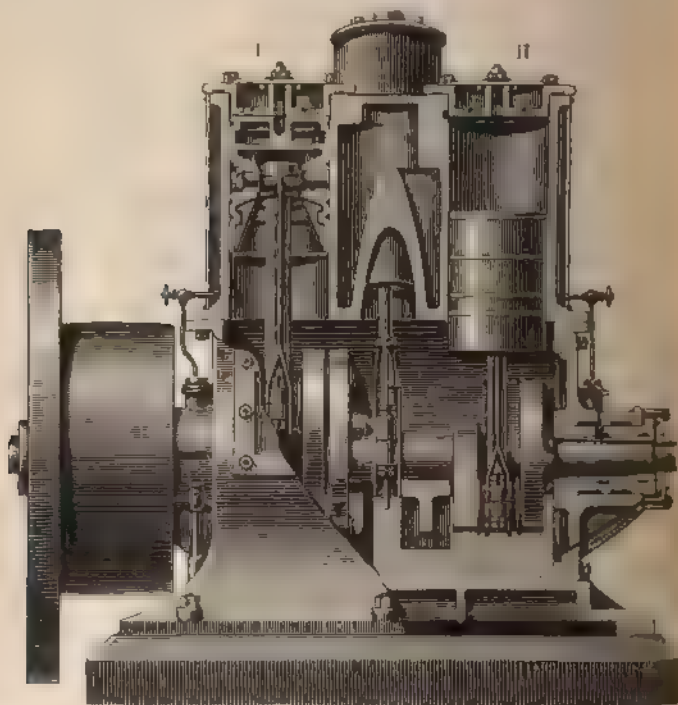
3. Westinghouse-Dampfmaschinen von Garrett Smith & Co. in Magdeburg-Buckau. Die Hochdruck-Westinghouse-Maschine besteht der Hauptsache nach aus zwei einfach wirkenden Zylinder, zwischen denen sich ein gemeinschaftlicher Steuerzylinder befindet, dessen Kolbenschieber direkt vom Regulator angetrieben wird. Die beiden Dampfzylinder (Fig. 359) sind mit einem Schieberzylinder in einem Stück gegossen und auf dem Kurbelkasten befestigt, in dem die Kurbelwelle in einem Ölgemisch läuft. Die Zylinder werden oben durch Deckel geschlossen, während sie nach unten offen sind. In der Maschine ist keine Stopfbuchse vor-



handen. Die Kolben haben zur Vermeidung der Kondensation doppelte Wandungen und sind mit vier Dichtungsringen versehen. Die Führung des vollkommen ausbalancierten Kolbenschneters ebenfalls cylindrisch und mit einfachen gußeisernen Ringen geteilt.

Der Regulator sitzt auf der Welle und wirkt direkt auf den Schieber ein. Auf der Scheibe *A* (Fig. 360) ist der um den Zapfen bewegliche Arm *c* angeordnet, welcher das Excenter *C* trägt. Letzteres

Fig. 359.



ist durch den Arm *f* mit einem der Gewichtsgelenke fest verkuppelt. Die Regulatorgewichte *B* tragenden Gelenkarmlen sind in den Zapfen drehbar und so durch den Arm *e* miteinander verbunden, daß sie zusammen wirken müssen. *D* sind starke Spiralfedern aus Stahl mit dem einen Ende an der Scheibe *A*, mit dem anderen an den Gewichten *B* befestigt sind. Die Anschlagstifte *s* begrenzen den Lauf der Gewichte *B*.

Fig. 360 zeigt die Regulatorgewichte *B* und die Spiralfedern *D* in der Ruhelage, wobei das Excenter *C* die größte Excentricität hat. Die Steuerungskanäle für Dampfzu- und -abfuhr während 0° des Hubes sind. Das Excenter bleibt in dieser Stellung, bis die normale Geschwindigkeit bis auf 1 Proz. erreicht ist. Von nun an beginnt die Centrifugal-

der Regulatorgewichte *B* den Zug der Spiralfedern *D* zu überwinden, die Gewichte *B* heben sich so weit, bis Centrifugalkraft und Federspannung einander das Gleichgewicht halten.

Fig. 361 zeigt die Stellung der geringsten Excentrizität, wobei die Gewichte *B* in der äußersten Lage sich befinden, zugleich auch die Federn *D*

Fig. 360

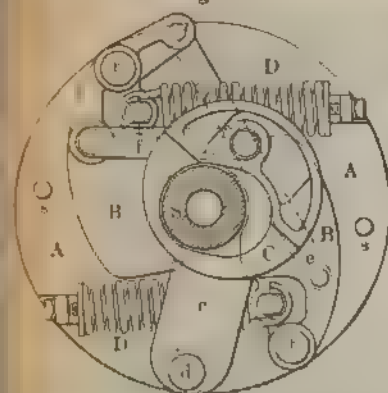
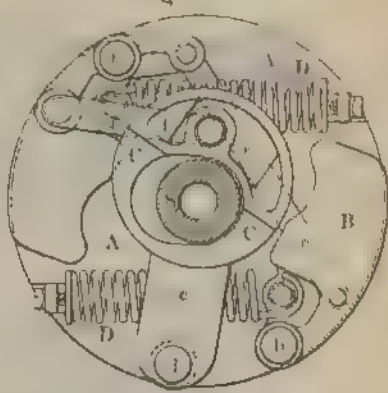


Fig. 361.



am stärksten gespannt sind. Für diese Stellung beim Leerlauf sind die Dampfkanäle beinahe ganz geschlossen.

Bei der normalen Belastung, bei der die Cylinder 20 bis 25 Proz. Füllung erhalten, liegt das Excenter *C* in der Mittelstellung. Der Regulator ist ferner so justiert, daß er die in Fig. 360 dargestellte Ruhelage so lange behält, bis die Tourenzahl der Maschine nur 1 Proz. geringer als die normale ist. Der Regulator geht aber in die Stellung Fig. 361 über, wenn die Tourenzahl um 1 Proz. die normale überschreitet. Dementsprechend ergibt sich zwischen Leerlauf und maximaler Belastung eine Geschwindigkeitsänderung von 2 Proz. Dieser Gleichmäßigkeitsgrad ist besonders wichtig für den elektrischen Lichtbetrieb und macht die Dampfmaschinen für den direkten Antrieb der Dynamos sehr geeignet.

§ 112. Dampfturbinen, System de Laval der Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk bei Köln. Für Deutschland nebst Kolonien ist die Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk bei Köln der alleinige Lizenzinhaber der de Laval'schen Dampfturbinen, sowie Vertreter der Aktiebolaget de Laval's Angturbin, Stockholm.

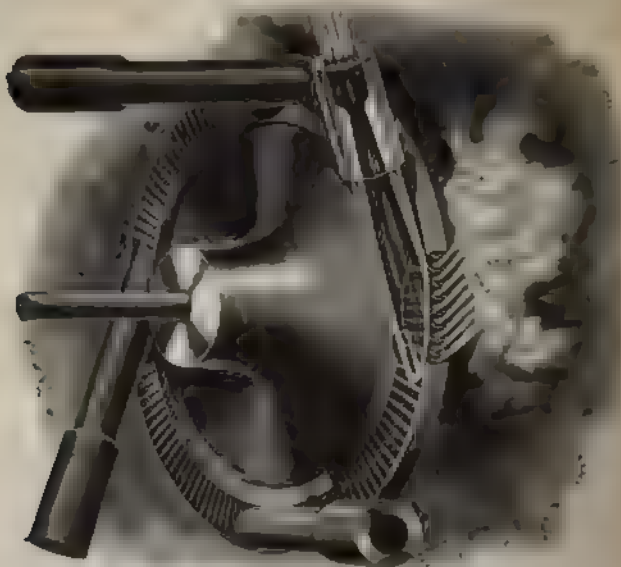
Die de Laval'sche Dampfturbine ist eine schnelllaufende, rotierende Dampfmaschine, die besonders zur direkten Kuppelung mit Dynamos, Centrifugalpumpen u. s. w. geeignet ist. Fig. 362 gibt ein perspektivisches Bild des Dampfturbinenrades mit den Dampfstrahlröhren.

In Fig. 363 ist ein Schnitt durch eine Dampfturbine von 10 P.S., System de Laval, gegeben.

Der Dampf strömt vom oberen Zuleitungsrohr durch das Absperrventil in den ringförmigen Kanal, mit welchem die Dampfstrahlröhren in Verbindung stehen. Das Turbinenrad mit verhältnismäßig geringen

Durchmesser ist auf einer federnden Welle von 9 bzw. 14 mm Durchmesser befestigt. Alle heftigen Vibrationen der Welle hören auf, und der Gang der Maschine wird ruhig und geräuschlos, sobald die sog-

Fig. 362.



nannte kritische Geschwindigkeit überschritten wird. Auf der federnden Welle *A* (Fig. 364) befindet sich der Trieb *C*, der in das auf der Triebwelle *N* sitzende Wechselrad *M* eingreift. *B* ist das Turbinenrad, *D* Endlager, *E* Sicherheitslager im Turbinengehäuse, *F* Zwischenlager, *G* Sicherheitslager im Deckel des Turbinengehäuses, *H* Kugellager mit Druckfeder, *J* Dampfdüse, *L* Absperrventil mit Handrad, *Q* Centrifugalregulator.

Unter den vielen Vorzügen der Dampfturbinen sei besonders für den elektrischen Lichtbetrieb die leichte Regulierung der Geschwindigkeit hervorgehoben.

In den Fig. 365 und 366 sind Geschwindigkeitsdiagramme, die an Horns selbsttätigem Tachographen aufgenommen sind, wiedergegeben, wozu stellt Fig. 365 die beobachteten Geschwindigkeitsänderungen der de Laval'schen Dampfturbinendynamo ohne Kondensation bei der normalen Leistung 135 P.S. und der normalen Tourenzahl 1950 pro Minute dar. Fig. 366 gibt die beobachteten Geschwindigkeitsänderungen eines de Laval'schen Dampfturbinenmotors mit Kondensation, bei der normalen Leistung 100 P.S. und der normalen Tourenzahl 1950 Umdrehungen pro Minute. Die Entfernung zweier nebeneinander liegender Horizontalen entspricht dabei einer Geschwindigkeitsänderung um 5 Proz.

Mittels abschließbarer Dampfdüsen kann die Zustromung des Dampfes während die Maschine im Betriebe ist, annähernd der Belastung angepaßt

werden, so daß das Regulatorventil zur genauen Regulierung der Geschwindigkeit den Dampfdruck nicht erheblich zu reduzieren braucht. Der Leerlauf-

Fig. 363.

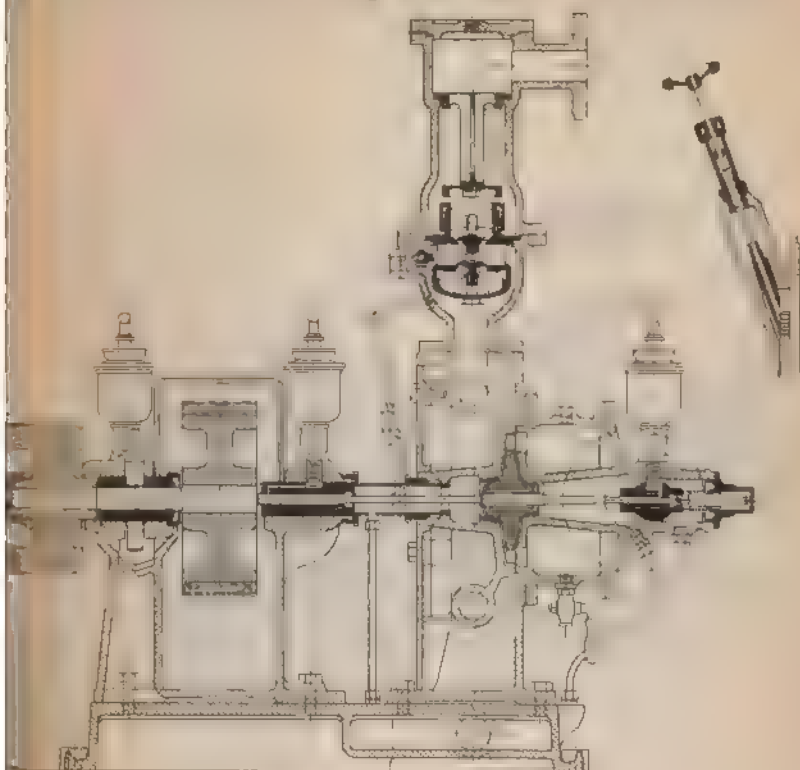


Tabelle I.

Nr. der Versuchsreihe	Anzahl der geöffneten Düsen	Tourenzahl pro Minute	Dampf- überdruck in kg pro qcm	Vakuum in mm Queck- silbersäule	Gebremste Pferde- stärken	Dampfver- brauch pro gebremste P. S. pro Stunde
(Durchschnitt von 5 Beobachtungen)						
1	7	1037,2	8,00	670	163,3	7,87
2	6	1054,4	8,22	658	140,3	8,19
3	5	1057,0	8,00	666	116,1	8,01
4	4	1058,8	8,04	674	89,5	8,28
(Durchschnitt von 3 Beobachtungen)						
5	3	1060,7	7,90	685	65,0	8,49
6	2	1037,0	8,17	652	38,1	9,98

Widerstand der Turbinen ist nur gering, so daß auch bei geringer Beheizung sich ein guter Nutzeffekt ergibt.

Die in der vorhergehenden Tabelle I zusammengestellten Werte sind entnommen, der sich auf die Prüfung einer de Lavalschen Dampf-

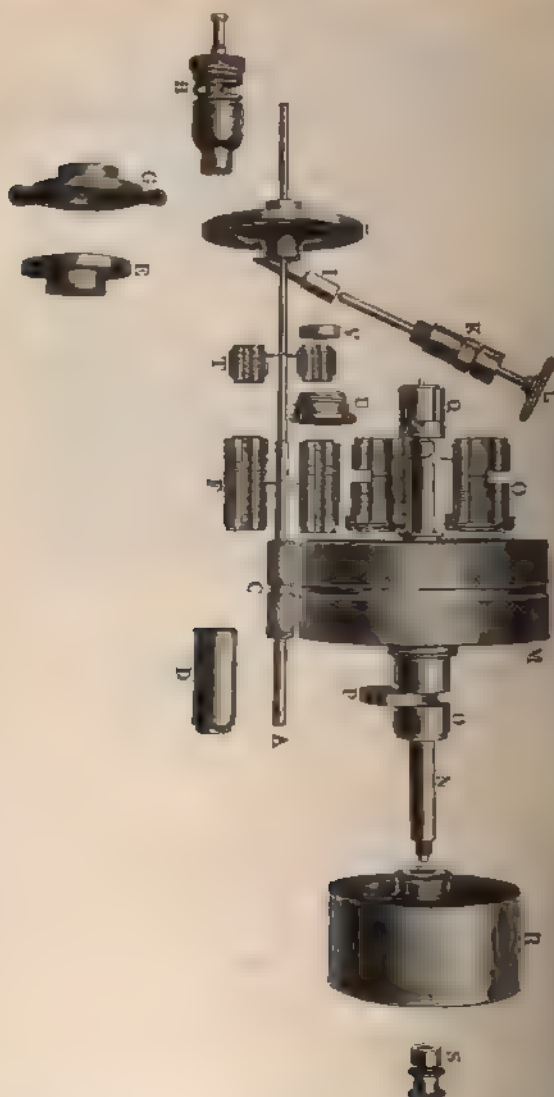


Fig. 304.

turbine von 150 P.S. bezieht. Die Arbeit für den Kondensator ist nicht mitgerechnet, sie nimmt etwa 4 bis 7 Proz. von dem vollen Reibungsanpruch der Maschine in Anspruch.

Der Feuchtigkeitsgrad des Dampfes betrug dabei 1,8 Proz.

Fig. 365.

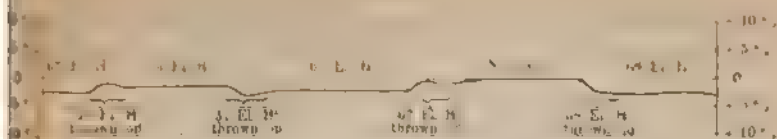


Fig. 366.

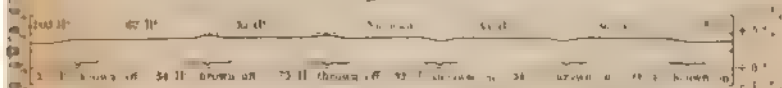


Fig. 367.

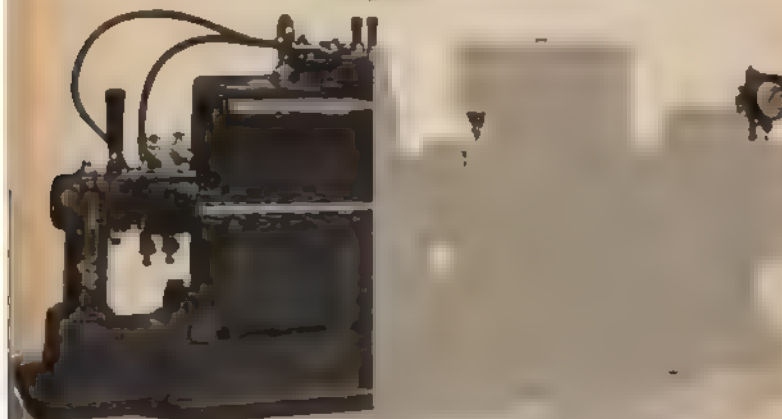
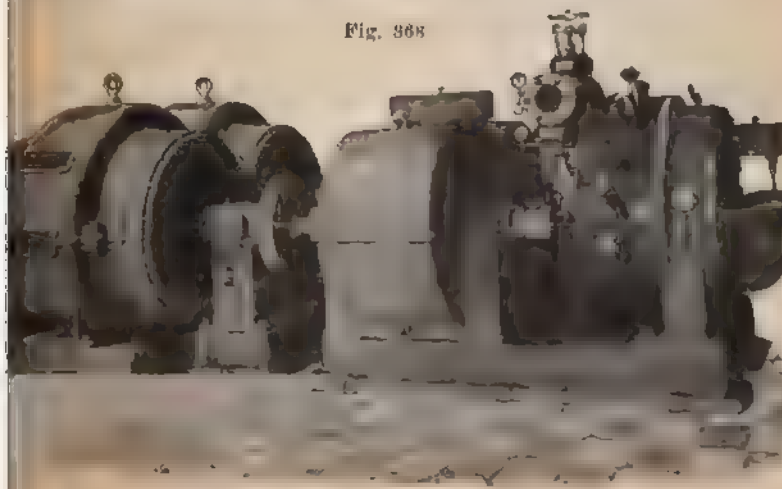


Fig. 368.



Effektive Pferdestärke	Durchmesser des Scheufelrades	Dampfdruck in der Turbine in Kilogramm pro Quadratzentimeter												Effektive Pferdestärke	
		3		5		7		8		10		12			15
	Hochdruck	Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm	
	70 cm	Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm		Kondensator 64 cm	
3	100	35	—	29,0	—	29,0	—	25,0	—	23,7	—	22,7	—	21,3	—
5	100	35	18,0	17,3	29,0	17,7	16,8	26,0	17,0	14,7	25,0	16,7	15,5	23,7	16,2
10	150	91,0	16,0	14,6	27,0	15,0	13,6	25,0	14,3	13,9	24,0	14,0	12,7	22,0	13,6
15	150	28,5	15,5	14,9	25,0	14,5	13,0	22,8	13,9	12,5	21,8	13,6	12,3	20,1	13,1
20	225	81	13,6	12,2	23,5	12,6	11,4	22,3	11,9	10,8	21,5	11,7	10,6	19,7	11,3
30	225	28	13,2	11,8	22,8	12,0	11,0	20,3	11,4	10,5	19,5	11,2	10,3	18,1	10,8
50	800	28	12,4	11,3	22	11,5	10,5	19,3	10,9	10,1	18,7	10,7	9,9	17,7	10,4
75	300	26,5	12,1	11,0	21	11,2	10,3	18,3	10,7	9,9	17,7	10,5	9,7	16,7	10,2
100	390 (31,0)	11,3	10,0	28,5	10,4	9,2	8,0	17,3	10,7	9,9	16,5	10,5	9,7	15,5	10,2
150	490	26,5	12,1	11,0	20,0	11,2	10,3	17,3	10,7	9,9	16,5	10,5	9,7	15,5	10,2
200	500	28	10,8	9,7	21	10,1	8,8	18,0	9,5	8,4	17,0	9,3	8,3	15,8	9,9
300	490	—	—	19,3	—	—	—	16,4	—	—	15,7	—	—	14,8	—
400	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
500	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
600	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
700	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
800	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
900	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1000	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1100	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1200	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1300	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1400	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1500	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1600	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1700	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1800	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
1900	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2000	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2100	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2200	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2300	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2400	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2500	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2600	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2700	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2800	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
2900	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3
3000	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,3	9,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3



In der nebenstehenden Tabelle II sind Angaben über den Dampfverbrauch zu verschiedenen Leistungen und Dampfüberdrucke zusammengestellt. Die Angaben über den Dampfverbrauch gelten unter der Voraussetzung, daß 1. der Dampf möglichst trocken, 2. die Probe mit voller Belastung angestellt wird. Auch hier ist die Arbeit für den Kondensator nicht mitgerechnet.

Fig. 367 gibt das Bild einer Dampfturbinendynamo von 7 P. S. und Fig. 368 das einer Dampfturbinendynamo von 160 P. S. mit zwei Triebwellen und dementsprechend zwei Ankern. Diese Doppeldynamos eignen sich besonders zur Stromerzeugung in Dreileiternetzen.

## Dreizehntes Kapitel.

### Behandlung der Dynamos.

§ 118. **Behandlung der Dynamos nach Abstellen des Betriebes.** Sogleich nachdem die Dynamo außer Betrieb gestellt ist, wird sie gereinigt und geputzt, wobei keine Putzwolle verwendet werden soll, sondern nur leinene Lappen ohne lose Fasern. Der Bürstenhalter und Kollektor werden mittels Blasebalg oder eines harten Pinsels von Metallstaub gereinigt. Alle an der Maschine befindlichen Kontakte, Schraubenverbindungen u. s. w. sollen sich stets in einem gebrauchsfähigen Zustande befinden; dieselben sind daher von Zeit zu Zeit nachzusehen und erforderlichenfalls anzuziehen.

Um den Kollektor in einem guten Zustande zu erhalten und um die Riefen und Unebenheiten auf demselben fernzuhalten, muß er öfter sehr sorgfältig mit Sand- oder Glaspapier, nicht mit Schmirgelpapier oder Schmirgelleinen, gereinigt werden. Das Glaspapier kann mit Maschinenöl oder Petroleum zur Vermeidung des Metallstaubes bestrichen werden. Die Reinigung des Kollektors soll nicht während des Betriebes geschehen.

Die Oberfläche des Kollektors wird durch tägliches Abschleifen mit feinem Glas- oder Sandpapier, das auf ein dünnes Brettchen geleimt ist, glatt und blank erhalten. Die Breite des Brettes wählt man gleich der Kollektorbreite. Ist der Kollektor zu rauh oder unrund geworden, so muß er laufend auf einer Schlechtfeile gefeilt werden, oder besser noch abgedreht werden. Zum Vordrehen soll ein Drehstahl mit scharfer Spitze verwendet werden, mit gleichzeitig der Glimmer abgedreht wird. Die Drehgeschwindigkeit soll so gewählt werden, daß die Umfangsgeschwindigkeit des Kollektors nicht mehr als 8 m pro Minute beträgt. Auch beim Schleifen soll ein scharf gespitzter Drehstahl gebraucht werden, dessen Vorwärtsbewegung pro Umlauf nicht mehr als 0,1 mm beträgt, während die Umfangsgeschwindigkeit nicht 10 m pro Minute übersteigt. Bei größeren Maschinen wird das Abdrehen des Kollektors am besten an der Maschine selbst ausgeführt, wozu dem Maschinengestell in geeigneter Weise ein Drehbanksupport angebracht ist.

bracht wird. Nach dem Abdrehen sind alle Isolierschichten am Kollektor nachzusehen und zu prüfen, ob nicht Späne von einer Lamelle zur nächsten hinübergezogen sind. Dann muß sorgfältig jeder Metallstaub und Metallspan vom Kollektor entfernt werden.

Die Länge, um welche die Bürsten aus den Haltern hervorragen, ist besonders zu merken. Die Bürsten müssen dem Verschleiß entsprechend vorgeschoben werden, wonach die Druckschrauben der Bürsten fest anzuziehen sind.

Die Bürsten sollen vorn geraden Schnitt zeigen, und wenn sie zackig geschliffen sind, wieder gerade gefeilt oder mit einer Schere gerade geschnitten werden. Dieses ist besonders bei Gewebebürsten zu beachten. Die Bürsten sind von Metallstaub und Öl sorgfältig zu reinigen, eventuell durch Waschen mit Benzin.

Bei zweipoligen Maschinen müssen die Bürsten an zwei genau gegenüber liegenden Lamellen des Kollektors aufliegen, bei vierpoligen Maschinen an Lamellen, die um  $\frac{1}{4}$  des Umfanges voneinander entfernt sind.

Bei Kohlebürsten soll die Auflagerfläche entsprechend der Krümmung des Kollektors gebildet sein.

Nach vollzogener Reinigung sind Anker, Kollektor und Schenkelwicklung gegen Nässe und Staub durch einen um die Dynamo gelegten Mantel aus Segeltuch zu schützen.

#### § 114. Das Inbetriebsetzen und der Betrieb der Dynamo.

Vor dem Anstellen der Betriebsmaschine sind, besonders bei größeren Maschinen, die Metallbürsten abgehoben vom Kollektor. Das Abheben geschieht meistens gleichzeitig durch isolierte Hebel und Zahnrad. Wenngleich die Konstruktion des Bürstenhalters dadurch kompliziert wird, so bietet doch diese Einrichtung Vorteile, wenn die Dynamos durch Dampfmaschinen angetrieben werden, bei welchen im Augenblick des Anlassens ein Rückwärtsdrehen möglich ist. Auch beim Abstellen der Dynamo sollen nach Abstellen der Betriebsmaschine kurz vor dem Auslaufen des Ankers die Bürsten abgehoben werden. Bei Anwendung von Kohlebürsten ist diese Vorsicht nicht nötig. Ist die Betriebsmaschine durch Regulator und Absperrventil auf richtige Tourenzahl gebracht, so werden die Bürsten angelegt, und die Spannung wird mit dem Nebenschlußregulator auf den normalen Betrag gebracht. Nunmehr erst erfolgt der Anschluß der Dynamo an das Schaltbrett. Alle an die Schienen desselben geschlossenen Verteilungsleitungen sind noch abgeschaltet; das Einschalten derselben erfolgt nacheinander unter Beobachtung des Strommessers, wenn die Dynamo ihre normale Spannung erlangt hat. Bei allmählicher Einschaltung der Stromkreise müssen die Bürsten in der Drehungsrichtung des Ankers mittels des Bürstenhalters verschoben werden (vergl. § 44 und 45). Man vermeide möglichst, während des Betriebes die Dynamo

stark zu belasten oder zu entlasten, dies gibt leicht zur  
Ankerbildung am Kollektor Veranlassung, ferner auch zu Unregel-  
mäßigkeiten in der Umlaufzahl bei zu langsam wirkendem Regulator  
der Betriebsmaschine.

Während des Betriebes ist eine sorgfältige Überwachung der Lager  
poten. Zur Schmierung des Lagers wird bestes Maschinenöl ver-  
wendet, jeder übermäßige Gebrauch des Öles ist zu vermeiden, da die  
Dynamo durch spritzendes Öl leicht verunreinigt wird. Vor allem  
sind die Wickelungen des Ankers und des Magneten gegen ein-  
strömendes Öl zu schützen. In Lagern mit Ringschmierung soll das  
Öl alle 8 bis 14 Tage erneuert werden.

Vor dem Inbetriebsetzen, besonders nach längerer Ein-  
stellung des Betriebes, müssen Betriebsmaschine und Dynamo einer  
neuen Besichtigung unterworfen werden. Wird die Dynamo zum  
ersten Male in Betrieb gesetzt, oder ist dieselbe längere Zeit außer  
Betrieb gewesen, so sollen die Lagerdeckel abgenommen, und die Lager  
und Zapfen gereinigt werden. Beim Wiederaufsetzen der Lagerdeckel  
sollen die Schrauben nicht zu stark angezogen werden. Die Schmier-  
fäße sind zu prüfen; die Schmierringe sollen sich in richtiger Lage  
finden und beim Andrehen des Ankers durch die Hand sich mit-  
bewegen.

Der Anker muß rund laufen und sich centrisch zwischen den  
Schuhen befinden; er muß sich leicht drehen lassen. Klimatische  
Veränderungen bringen wohl ein Aufquellen mancher Isolationsmaterialien  
vor, worauf bei der Besichtigung des Ankers und Kollektors zu  
achten ist.

Die reinen und trockenen Bürsten müssen mit der ganzen Auf-  
schlagfläche am Kollektor anliegen. Die richtige Stellung der Bürsten  
unter voller Belastung wird meistens durch eine Marke gekennzeichnet.  
Die Bürsten sollen mit sicherem, aber leisem Drucke aufliegen. Die  
Anschlagfläche der Metallbürsten darf nicht mehr als zwei Breiten und  
ist weniger als eine Breite der Kollektorlamellen betragen. Die  
äußeren Ränder nebeneinander liegender Bürsten liegen in einer Linie.  
Entgegengesetzte Bürsten sind so in der Richtung der Welle gegeneinander  
versetzen, daß der ganze Kollektor bestrichen und auf seiner  
gesamten Länge gleichmäßig abgenutzt wird.

Nach sorgfältiger Prüfung aller Verbindungen der Dynamo mit  
der Schaltbrette, der Magnetspulen mit dem Nebenschlußregulator  
ist der Betrieb beginnen.

Während des Betriebes dürfen die Bürsten nicht vom Kollektor  
gehoben werden, weil hierdurch der Kollektor beschädigt wird und  
Durchschlagen der Nebenschlußspulen erfolgen kann.

Die Dynamo soll stets mit der normalen Tourenzahl laufen. Wird  
sie mit zu geringer Tourenzahl betrieben und dabei durch fast voll-  
ständiges Ausschalten des Widerstandes im Regulator die Spannung

auf ihren normalen Betrag gebracht, so wird eine übermäßige Erwärmung der Magnetspulen meistens eintreten.

§ 115. Störungen an der Dynamo. a) Warmlaufen eines Lagers. Ist ein Lager warm gelaufen, so sucht man zunächst unter Anwendung von frischem Öl durch verstärktes Schmieren Abkühlung zu schaffen. Oft liegt die Ursache in einem zu starken Anziehen der Lagerdeckelschrauben oder in einem zu straff gespannten Riemen. Schmutz wird nach Abstellen des Betriebes aus dem Lager durch mit Petroleum getränkte Lappen entfernt.

b) Heißwerden des Kollektors. Zu starke Erwärmung des Kollektors tritt meistens dadurch ein, daß die Bürsten mit zu starken Drücke aufliegen oder daß eine der Funkenbildung bei mangelhaft eingestellten Bürsten auftritt.

c) Nichtangehen bezw. Ausbleiben der Erregung. Zerstört sich die Dynamo stromlos beim Angehen und unterbleibt die Erregung derselben, so liegen entweder die Bürsten gar nicht oder schlecht an oder es ist eine Unterbrechung der Schraubenverbindungen an der Dynamo vorhanden, oder die Verbindung der letzteren mit dem Nebenschlußregulator ist gestört. Auch ein Kurzschluß zwischen den Bürsten der Nebenschlußdynamo, wodurch zugleich die Magnetspulen kurz geschlossen werden, kann die Ursache des Ausbleibens der Erregung sein. Sind jedoch alle Verbindungen in Ordnung, so kann auch durch Verschwinden des remanenten Magnetismus die Erregung unterbleiben, der dadurch verloren gehen kann, daß beim vorhergehenden Abstellen ein schwacher Strom für einen Augenblick in umgekehrter Richtung durch die Magnetspulen geflossen ist. Dynamos mit Magneten aus Schmiedeeisen oder Flußeisen haben überhaupt nur wenig remanenten Magnetismus. Der Vorfall ereignet sich am häufigsten bei ganz neuen Maschinen, tritt nur selten ein bei Maschinen, die schon öfter in Betrieb gewesen sind. In diesem Falle muß ein Strom von einer anderen Dynamo, oder von einer Akkumulatorbatterie, eventuell auch von einigen galvanischen Elementen, durch die Magnetspulen der Nebenschlußdynamo geleitet werden, wobei natürlich die Spulen ganz aus der Verbindung mit dem Acker und dem äußeren Widerstande gebracht werden. Kennt man die Lage der Pole der Dynamo, so ergibt sich leicht auf Grund der Regeln, in welcher Richtung der Fremdstrom durch die Magnetspulen geleitet werden muß. Ist die Maschine hierbei oder sonst durch irgend welche Umstände umpolarisiert, so ist dies so lange ohne Bedeutung, wie die Dynamo Strom ausschließlich für Glühlampen liefert, und keine Glühlampen und Akkumulatoren Strom von ihr erhalten, die Dynamo nicht mit einer anderen in Parallelschaltung verbunden wird. So eine Störung infolge des Umpolarisierens beseitigt werden, so müssen die Enden der Hauptleitung an den Klemmen der Maschine vertauscht

den, nachdem vorher die sämtlichen Stromkreise von der Dynamo geschaltet sind. Um den Polen der Maschine wieder die ursprüngliche Lage zu geben, muß Fremdstrom benutzt werden. Die Unterbrechung der beiden Polklemmen geschieht durch Anwendung des § 10 erwähnten Polreagenzpapiers.

Wird die Dynamo mit Nebenschlußwicklung an ein Leitungsnetz angeschlossen, in welchem ein Kurzschluß vorhanden, so können die Magnete nicht erregt werden, und die Maschine bleibt stromlos. Schaltet man die Dynamo vom Leitungsnetz ab, und legt man an ihre Polklemmen nur ein Voltmeter, so wird das letztere die normale Spannung anzeigen, wenn der Fehler wirklich im Leitungsnetze liegt. Ein derartiger Kurzschluß im Leitungsnetze kann veranlaßt sein durch nicht ausgeschaltete Motoren, deren Anlaßschalter in der Endstellung liegt oder durch eine Anzahl parallel geschalteter Leuchtampen. Motoren und Bogenlampen sind daher beim Betriebsschluss in Hand auszuschalten, sofern dies nicht durch selbsttätige Ausschalter geschieht. Nach Reparaturen an Compounddynamos ist bei Anschluß der Magnetspulen darauf zu achten, daß die Ströme in beiden Bewickelungen im Eisenkern in gleichem Sinne magnetisieren.

Bei vorgenommenen Arbeiten an der Dynamo kann es wohl eintreten, daß die Nebenschlußdrähte an den Anschlußklemmen verwechselt sind, wodurch die Erregung der Dynamo unterbleibt. Diese Verwirrung ist leicht zu beseitigen.

d) Plötzliches Auftreten starker Funkenbildung am Kollektor kann hervorgerufen werden:

1. Durch eine lose gewordene Bürste am Kollektor.
2. Durch Entstehung eines Kurzschlusses in der äußeren Leitung einer sachgemäß ausgeführten Anlage müssen bald die betreffenden Schmelzsicherungen durchbrennen. Der Strommesser zeigt dabei eine ungewöhnlich hohe Stromstärke, während die Spannung der Nebenschlußdynamo weit unter ihrem normalen Betrag liegt. Meistens verlangt dabei die Betriebsmaschine erheblich ihre Tourenzahl.
3. Zeigt jedoch der Strommesser den normalen Betrag oder gar zu geringer, so liegt der Fehler in der Dynamo selbst. Durch Isolationsverlust der Ankerspulen, durch Loslösen eines Spulenendes vom Kollektor, durch Bruch eines Drahtes der Ankerspulen und andere Umstände wird dabei die Funkenbildung verursacht. Oft findet man nach dem Stillsetzen der Dynamo, daß sich zwei nebeneinander liegende Kollektorlamellen besonders verbrannt und die dazwischen liegende Ankerspule besonders erwärmt zeigen. Der Grund kann dann in Metallteilchen liegen, die zwischen zwei aufeinander folgenden Lamellen sich festgesetzt und die zugehörige Spule kurz geschlossen haben.

e) Zucken des Lichtes. Erfolgt dasselbe in regelmäßigen Intervallen, so liegt der Fehler meistens an der Betriebsmaschine oder ihrer Verbindung mit der Dynamo. Im ersteren Falle erfolgen Lichtschwankungen in gleichem Tempo mit den Umdrehungen der

Welle der Betriebsmaschine. Abhilfe wird hier meistens durch Anbringen schwererer Schwungmassen geschaffen. Auch kann bei Riemenantrieb das Schwanken der Spannung und damit der Lichtstärke durch einen gelockerten und zeitweise gleitenden Riemen verursacht werden, oder auch durch ein Riemenschloß oder eine ähnliche Verbindung des sonst glatten Riemens, die bei jedem Auflaufen auf die Riemenscheibe der Dynamo dem Anker einen Stoß gibt.

Weitere Ursachen des Zuckens des Lichtes rühren von einem un-  
runden Kollektor oder lose gewordenen Bürsten her.

## Vierzehntes Kapitel.

### Elektrische Leitungen und Hilfsapparate für dieselben.

§ 116. Material der Leitungen. Isolation derselben. Als Leitungsmaterial verwendet man hauptsächlich Kupfer, daneben freilich seltener Eisendraht, Siliciumbronzedraht u. a. m. Unter Leitungskupfer versteht man solches, dessen spezifisches Leitungsvermögen (vergl. § 13) bei 15° C. mindestens 57 ist. Als Normalkupfer von 100 Proz. Leitungsvermögen gilt solches, dessen Leitungsvermögen 60 beträgt. Der elektrische Widerstand der Leitungen wird nach der Gleichung (6) oder (7) berechnet.

Ist der Leiter seiner ganzen Länge nach mit einer isolierenden Hülle umgeben, so bezeichnet man ihn als einen isolierten, im Gegensatz zum blanken oder nackten Leiter. Die für elektrische Maschinen (Ankerwicklung und Magnetspulen) verwendeten Kupferdrähte werden meist in zwei bis vier Lagen mit Baumwolle oder Zwirn umspinnen, wobei die aufeinander folgenden Lagen in entgegengesetzten Richtungen gewickelt sind.

Mit Bezug auf die Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker unterscheiden wir

1. Leitungen für trockene Räume. Für diese ist der Leiter (Bezeichnung U) mit einer zwei- bis dreifachen Baumwollumspinnung isoliert, und diese Schicht ist mit Zwirn oder Eisengarn beklöppelt, das zum besseren Schutze gegen Feuchtigkeit noch mit Asphalt getränkt ist. Die Isolierhülle darf nicht brüchig werden und muß fest auf dem Drahte aufliegen.

Diese Leitungen dürfen auf Isolierglocken (Fig. 370) überall, auf Isolierrollen (Fig. 369) oder ähnlichem Isoliermaterial nur in gut trockenen Räumen verlegt werden.



2. Für Leitungen in Räumen, die im normalen Zustande trocken sind, wird auf Rollen, Ringen u. s. w. verlegter und verzinnter Kupferdraht gewählt, der zunächst mit einer oder zwei Lagen spiralförmig gewundenem Gummiband bedeckt ist und darüber eine

Fig. 369 a.



Fig. 370 a.



Fig. 370 b.

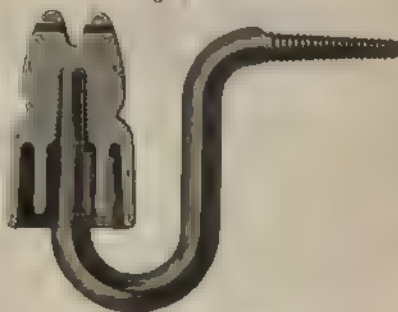


Fig. 369 b.



mit Asphalt oder Teer getränkte zwei- bis dreifache Umspinnung mit Baumwolle trägt. Ist der Kupferdraht nicht verzinkt, so muß er vor Berührung mit dem vulkanisierten Gummi durch eine Zwischenlage aus Baumwollengarn geschützt werden. Auch diese Leiter dürfen auf Isolierglocken überall verlegt werden.

3. Für dauernd feuchte Räume, für die von den Verteilungsstationen im Schiffe ausgehenden Leitungen nach den Innenräumen verwendet man Kupferleiter mit einer nahtlosen, ununterbrochenen und vollkommen wasserdichten Gummiisolierung (Bezeichnung G).

Guttaperchahüllen werden bei Wärme weich und sind daher wenig zu empfehlen; am besten eignet sich eine Kombination aus Gummi und Guttapercha.

Die vorhin bezeichneten Leitungen dürfen in Räumen, wo ätzende Dämpfe (Akkumulatorenräume u. s. w.) vorkommen, nicht gebraucht werden.

Um den Einfluß der Feuchtigkeit vollständig zu beseitigen, kann der isolierte Leitungsdraht mit einem nahtlosen Bleimantel umpreßt werden; wir erhalten so das blanke Bleikabel (Bezeichnung KB).

Fig. 371.

Zum Schutze des weichen Bleimantels gegen mechanische Einwirkungen von außen wird das Kabel zunächst mit einer geteerten Hanfschicht umgeben, über welche spiralförmig gewunden ein Eisenband liegt (armiertes Bleikabel, Bezeichnung KE). Um das Eisenband (Fig. 371) herum ist nochmals eine Hülle aus geteertem oder mit Asphalt getränktem Hanf gelegt.



Solche armierten Bleikabel können direkt in die Erde gelegt werden. Ebenso dienen auf den Schiffen die armierten Bleikabel



1. zur Verbindung der Dynamo mit dem Hauptschaltbrette, 2. zur Stromleitung vom Hauptschaltbrette aus nach den verschiedenen Verteilungsschaltbrettern oder Verteilungskästen, 3. für sämtliche Leitungen in den Maschinen- und Kesselräumen, 4. für die Außenlampen und Anschlußdosen des Promenadendecks, 5. für alle über Deck gehenden Leitungen, 6. für alle Leitungen in feuchten oder heißen Räumen, Bunkern Laderäumen u. a. w. Für die unter 2. und 3. genannten Leitungen können auch mit Rücksicht auf die Kosten und das Gewicht asphaltierte Bleikabel ohne Eisenarmierung Anwendung finden, wenn die Kabel hinreichend geschützt verlegt werden können.

Der Raumersparnis wegen sollte man für die unter 2. bis 5. genannten Leitungen möglichst verseiltes Doppelkabel verwenden. Dies geschieht auch vielfach für Leitungsquerschnitte über 6 qmm.

Für die Verteilungsleitungen an Bord, wie auch für nasse Räume eignet sich besonders die folgenden sogenannten Panzerdrähte (Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin), die ohne weiteren Schutz verlegt werden können.

1. KA Draht (Fig. 372) ist ein verzinkter Kupferleiter, mit Gummibahtlos umhüllt, vulkanisiert, mit gummiertem Band umwickelt, mit Baumwolle

Fig. 372



Fig. 373



Fig. 374.



Fig. 375.



bezu Jute beklöppelt und mit A.-E.-G.-Imprägniermasse getränkt, hierauf mit feinen, verzinkten Stahldrähten beklöppelt.

2. KSA-Draht, wie vorher, jedoch biegsam (Fig. 373).

Die vorher genannten Leiter werden bis zu 95 qmm von der A. E. G. Berlin hergestellt.

3. KBA-Draht ist ein verzinkter Kupferleiter (Fig. 374) mit vulkanisiertem Gummi umhüllt, mit einem nahtlosen Bleimantel umprefst, mit Jute beklöppelt, mit A. E. G.-Imprägniermasse getränkt und dann mit verzinkten Stahldrähten beklöppelt.

4. ZBA-Draht ist ein verzinkter Doppelleiter (Fig. 375), jeder einzelne mit vulkanisiertem Gummi umhüllt und mit einem Bleimantel umprefert, wie unter 3. Auch diese werden bis 95 qmm Querschnitt hergestellt.

In Fig. 376 ist eine wasserdichte, konzentrische Leitung für Masse (Querschnitte jeder Leitung 0,5, 1, 1,5 und 2,5 qmm) dargestellt.

Fig. 376.



Arke KVC der A.E.G., Berlin, ist eine verzinkte Kupferlitze, der innerer Leiter mit einer Lage Gummi nahtlos umhüllt, diese vulkanisiert, hierauf die Rückleitung, dann mit gummiertem Band umwickelt, mit Baumwolle abkloppt und Imprägniermasse getränkt. Leitungen dieser Art eignen sich für Glühlampenanschlüsse.

Die Panzerdrähte sind leicht zu verlegen. Die Abzweigungen müssen zur Vermeidung des Eindringens der Feuchtigkeit zwischen Leiter und Bleimantel in wasserdichten Abzweigdosen ausgeführt werden.

§ 117. Verlegen der elektrischen Leitungen. Bezüglich der Verlegungsart der Leitungen überhaupt ist zu fordern:

1. Die Isolation der verlegten Leitungen muß dauernd einen genügend hohen Wert behalten. Über die Messung der Isolation vgl. § 144.

2. Der Leitungsquerschnitt muß derartig gewählt sein, daß eine starke Erwärmung ausgeschlossen ist.

3. Bei zu hohen Spannungen muß Schutz gegen zufällige und unbeabsichtigte Berührung der Leitungen geboten sein. Auch soll die Verlegungsart je nach den örtlichen Verhältnissen gewissen ästhetischen Anforderungen genügen.

4. Die Leitungen sollen ihrer ganzen Ausdehnung nach leicht zugänglich und kontrollierbar sein, so daß leicht Fehler einzelner Teile der Leitung ermittelt werden können, auch die Auswechslung schadhafter Teile bequem ausgeführt werden kann.

5. Die Kosten sollen in Bezug auf den Gesamtwert der Anlage in einem angemessenen Verhältnis bleiben.

Diese Forderungen widersprechen sich bis zu einem gewissen Grade, es wird schwierig sein, allen Bedingungen gleichzeitig zu genügen. Je nach den vorliegenden Verhältnissen wird man einige Forderungen mehr oder weniger dagegen weniger berücksichtigen können.

Arten der Verlegung. 1. Verlegung der eisenbandumwickelten oder asphaltierten Bleikabel. Diese werden durch Rollen aus verzinktem Bandeisen in Abständen von 30 bis 40 cm an den Schotten oder Decks befestigt. Dieselbe Befestigung wählt man auch für die in § 116 beschriebenen Panzerdrähte.

2. Verlegung der Leitungen, die mit den Bezeichnungen U, und G auf S. 294 u. ff. angegeben sind.

a) Anstiften der Leitungen, nur gebräuchlich bei Montage der Leitungen auf Holz u. s. w. Zur Befestigung dienen verzinnzte Heftstifte, Krampen, und zwar wird der Leitungsdraht durch ein Fiberpolster gegen Verletzung durch den Heftstift geschützt. Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker ist diese Art der Verlegung überhaupt unzulässig. Isolierte Leitungen G mit sehr starkem Guttaperchamantel werden häufig mit Schellen aus Bandeisern direkt auf Schotten, Decks und Wänden an Bord verlegt, und zwar dort, wo hinreichender Schutz vorhanden ist, wie in den bewohnten Räumen.

b) Verlegung mittels Klemmstücke und Isolierrollen. Für Installationen an Gebäuden werden Klemmen aus Porzellan mit zwei Nuten benutzt, in welche die isolierten Drähte eingelegt und dann durch einen Deckel festgeklemmt werden (System von L. A. Riedinger, Augsburg).

Sehr gebräuchlich, besonders in Gebäuden, Fabrikräumen u. s. w., ist die Verlegung der isolierten Leitungen auf oder an Isolierrollen

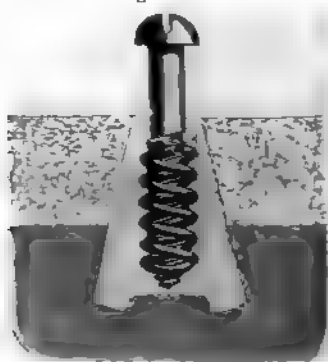
Fig. 377a.



Fig. 377b.




Fig. 378.



aus Porzellan, die auf Holzwänden mit Schrauben befestigt werden oder zu zweien oder mehreren auf einem eisernen Bande (Fig. 377a) mit Schrauben befestigt sind, das entweder auf hölzernen Dübeln verlegt wird oder selbst mit einem eisernen Dübel (Fig. 377b) ein einziges Stück bildet.

Wegen des Schwindens des Holzdübeln läßt die Festigkeit desselben mit der Zeit nach. Sehr praktisch ist der von J. Böddinghaus in Düsseldorf eingeführte Spiraldübel (Fig. 378). Der Dübel selbst ist eine Doppelschraube, die mit der eingesetzten Schraube eingegipst wird. Nach dem Erhärten des Gipses wird die Schraube zum Einsetzen der Isolierrolle aus dem Dübel herausgeschraubt.

In feuchten Räumen soll der Abstand der auf Rollen verlegten Leitungen von der Wand mindestens 10 mm betragen, dagegen in trockenen Räumen mindestens 5 mm. Die aufeinander folgenden Rollen derselben Leitung haben einen Abstand von 80 cm.

Ungeschützte Porzellanisolierung der Leitung kann an Bord in solchen Fällen benutzt werden, wo eine Beschädigung der Leitungen nicht zu befürchten ist; in anderen Räumen wird zum Schutze der mit Porzellanisolierung verlegten Leitungen ein Schutzblech aus Bandeisen von -förmiger Gestalt, dessen Flanschen mit Schrauben an der Decke befestigt sind, benutzt (vergl. Roedder, Die Verwenung der Elektrizität auf den Kriegsschiffen „Kearsarge“ und „Kentucky“, Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 24, S. 1809).

c) Verlegung der Leitungen in Holzleisten. Die Holzleisten bestehen aus einem Grundbrett, in welchem Nuten eingearbeitet sind, in die die Leitungen ohne weitere Befestigung verlegt werden. Die Nuten werden durch eine Holzleiste abgedeckt. Das Grundbrett wird auf den in der Mauer befestigten Dübeln geschraubt, indem man an geeigneten Stellen Porzellanrollen unterlegt, die das Grundbrett in kleinem Abstände von der Wand halten, damit nicht die Feuchtigkeit derselben vom Holze aufgenommen wird. Gegen das Einziehen der Feuchtigkeit schützt auch ein Anstrich mit Leinölfirnis. Besonders sorgfältig müssen die Verbindungsstellen der Drähte durch Verlöten (siehe § 118) hergestellt werden, weil bei mangelhaftem Kontakte die Erhitzung leicht die Gefahr des Anbrennens der Holzleisten herbeiführt. Holzleisten finden nur Anwendung für Leitungen bei einer Netzspannung von 110 Volt und weniger. Der Wert der Holzleisten für die Isolierung der Leitungen wird sehr verschieden beurteilt, der Verband deutscher Elektrotechniker hat in den Sicherheitsvorschriften den Gebrauch der Holzleisten für die Verlegung elektrischer Starkstromleitungen jeder Art als unzulässig erklärt. In den bewohnten Räumen des Schiffes werden die Holzleisten zum Schutze der gummiisolierten Leitungen (Bezeichnung G) sehr häufig und gern verwendet. In allen Fällen ist jedoch dafür zu sorgen, daß jedes Eindringen von Feuchtigkeit in die Holzleisten verhindert wird.

Aus praktischen Gründen empfiehlt sich die Verlegung der Holzleisten an Bord der großen Passagierdampfer wegen der sehr häufig vorkommenden Veränderungen in der Benutzung der verschiedenen Schiffsräume. Die Holzleisten sind dabei ein sehr viel billigeres Material als die Isolierrohre, welche bei größeren Änderungen der Installation meist durch neue ersetzt werden müssen.

d) Verlegung der Leitungen in Röhren. In einzelnen Fällen werden in den elektrischen Anlagen auf den Schiffen besonders die Hauptleitungen nach den Verteilungsstationen in Gasrohre verlegt, damit sie vor äußeren Angriffen großen mechanischen Schutz haben. Diese Verlegungsart ist jetzt nur noch wenig im Gebrauche, da die armierten Bleikabel hinreichend widerstandsfähig und bequemer zu verlegen sind. An sehr gefährdeten Stellen wird man immerhin den armierten Bleikabeln noch besonderen Schutz geben.

Die von den Verteilungsstationen nach den einzelnen Lampen abgehenden Verteilungsleitungen werden sehr häufig in dichte und feste Röhren eingezogen, damit sie Schutz gegen Feuchtigkeit und mecha-

nische Angriffe haben. Es ist gestattet, Hin- und Rückleitung in dasselbe Rohr zu legen. Sehr gebräuchlich ist das Installations-system von S. Bergmann, Berlin.

Diese Rohre bestehen aus mehreren spiralförmig gewundenen Papierstreifen, die mit einem an Kohlenwasserstoffen reichen und bei hoher Temperatur schmelzenden Stoffe getränkt sind. Die Rohre sind wasserdicht, hart und etwas elastisch. Für Lichtleitungen verwendet man Rohre in 11, 16, 23, 29, 36 und 48 mm lichten Weiten. Das 9-mm-Rohr dient nur für Ex-

Fig. 379.



leitungen. Bei Anwendung von zwei Lichtleitungen in einem Rohre wird mindestens ein 11-mm-Rohr verwendet. Die Befestigung der Rohre erfolgt am besten mit den Rohrschellen (Fig. 379) aus verzinktem Eisen oder aus Messing. Die Verbindung der Rohre geschieht durch eine Metallmuffe, welche die beiden Rohrenden derartig eingeschoben werden, daß der Stab möglichst in der Mitte stattfindet, worauf die Enden der Muffe mittels einer besonderen Zange gewurgt werden (Fig. 380). Rohre von mehr als 27 mm lichter Weite werden nur durch Muffen aus Isoliermaterial verbunden.

Fig. 380.



enden und Muffen werden vor dem Zusammenstecken gelinde erwärmt. Für geringe Krümmungen können die Rohre bei gehinder Erwärmung über einer Flamme gebogen werden. Für stärkere Krümmungen sind besondere Eldebogen-, Kripfungsstücke und Übergangsbogen vorhanden. Da das Rohrsystem zunächst vollständig fertig gestellt wird, und dann erst mittels eines Stabbandes die Leitungen eingezogen werden, so ist es nötig, an passenden Orten Zwischendosen (Fig. 381), oder Zwischenkästen einzusetzen, von denen

Fig. 381.



aus die Leitungsdrähte nach beiden Richtungen hin eingezogen werden können. Für die Abzweigungen von den Hauptleitungen sind besondere Abzweigdosen vorgesehen, die dauernd zugänglich sind und durch einen Deckel aus Messing oder Eisenblech verschlossen werden. Sämtliche Abzweigdosen eignen sich auch zur Aufnahme von kleineren Ausschaltern und Umschaltern. Die Rohre werden mittels eines besonderen, leicht flüssig machenden Kittes in den Dosenanschlüssen abgedichtet. Durch die Verwendung der Abzweigscheiben (Fig. 382) wird das Löten der Abzweigungen in den Dosen vermieden, da dasselbe bei dem engen Raum in der Dose schwierig auszuführen ist. Die gewöhnlichen Isolierrohre dürfen nicht verwendet werden, wo durch atemde Stoffe, wie bei der Verlegung

Zementputz u. s. w., eine Zerstörung des Rohres stattfindet. Für solche Fälle benutzt man Isolierrohre mit Messingüberzug, das auch des größeren Schutzes wegen für die Innenräume auf den Dampfern „Kaiser Wilhelm der Große“, „Friedrich der Große“ u. s. m. des Norddeutschen Lloyd vielfach

Fig. 382



benutzt ist, auch auf Kriegsschiffen Verwendung gefunden hat. Diese Rohre werden in Bauängen von 3 m mit den lichten Weiten 9, 11, 16, 23 und 29 mm hergestellt. Die hierbei zur Verwendung kommenden Maßen haben innen eine Isolierbüchse und sind an beiden Enden mit Rillen versehen, die mit einem schmelzbaren Kitt ausgefüllt werden (Fig. 383). Ferner werden Isolierrohre mit Stahlpanzer hergestellt, welche einen Stahlmantel von

Fig. 383.



1,5 bei 2 mm Wandstärke haben und an beiden Enden mit Gewinde versehen sind. Die Verlegung und Befestigung ist ähnlich wie bei den Gasrohren ausgeführt. Wird besonders große mechanische Festigkeit verlangt, wie bei Leitungen in Kessel-, Kohlen- und Laderaumen, so kommen Isolierrohre mit Eisenarmierung zur Anwendung.

Damit keine Feuchtigkeit in die Rohrleitungen eindringt, ist eine sehr gute Abdichtung, hauptsächlich der Verbindungsstellen, erforderlich. Vorteilhaft ist es, den Rohren ein geringes Gefälle zu geben, damit etwa in denselben kondensiertes Wasser ablaufen kann. Bei den zahlreichen Krümmungen, welche die Leitungen an Bord infolge der Bauart des Schiffes und bei den oft sehr beschränkten Raumverhältnissen machen müssen, ist die Möglichkeit, besonders auch in Rücksicht auf den hohen Feuchtigkeitsgrad, nicht ausgeschlossen, daß eine starke Ansammlung von Feuchtigkeit im Rohrsystem auftritt. Besonders gefährlich wird die Anhäufung der Feuchtigkeit in den Abzweigboxen.

### § 118. Verbindungen und Durchführung der Leitungen.

Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker dürfen Drähte nur durch Verlöten oder eine gleich gute Verbindungsart verbunden werden. Die Drähte durch einfaches Umeinanderschlingen der Enden zu verbinden, ist unzulässig. Als Lötmittel dürfen nur solche in Anwendung kommen, welche das Metall nicht angreifen. Die Verbindungsstelle muß entsprechend den übrigen Teilen der Leitung sorgfältig isoliert werden (vergl. § 116).

Alle Leitungen über 25 qmm Querschnitt erhalten zum Zwecke des Anschlusses an die Schalttafeln und Apparate Kabelschuh-



(Fig. 385) Drahtseile von geringerem Querschnitte als 25 qmm müssen für solche Anschlüsse an den Enden verlötet werden, wenn sie nicht ebenfalls Kabelschuhe erhalten. Fig. 384a und b stellen die von Siemens und Halske, A.G., hergestellten Verbindungsklemmen dar.

Fig. 384a



Fig. 384b.



Zur Durchführung der Leitungen durch wasserdichte Schotten sind Stopfbüchsen mit entsprechend guter Isolation einzusetzen. In

Fig. 385.



Fig. 386 ist eine Reihe von Schottstopfbüchsen dargestellt, die mit 11 bis 45 mm Bohrung in 10 Abstufungen von Ed. J. von der Heyde in Berlin geliefert werden.

Werden die Leitungen durch Deck geführt, so sind zur Durchführung Eisenrohre einzusetzen, welche oben zum Schutze möglichst

Fig. 386



1 m überstehen sollen. Diese Rohre sind über und unter Deck mittel Gewindeflanschen wasserdicht zu verpacken. Der Raum zwischen Kabel und Durchführungsrohr soll nicht mit Isoliermasse ausgegossen, sondern oben und unten durch Gummiringe abgedichtet werden.

§ 119. Die Wahl des Leitungsquerschnittes. Die Auswahl des Leitungsquerschnittes erfolgt nach zwei Gesichtspunkten:



1. Die Erwärmung der Leitungen durch den elektrischen Strom darf nicht zu groß werden. Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker ist die höchste zulässige Betriebsstromstärke für Drähte und Kabel aus Leitungskupfer der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

Querschnitt in qmm . . .	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25
Stromstärke in Ampère . . .	3	4	6	10	15	20	30	40	60
Querschnitt in qmm . . .	35	50	70	95	120	150	210	300	
Stromstärke in Ampère . . .	80	100	130	160	200	230	300	400	
Querschnitt in qmm . . .	500	625	800		1000				
Stromstärke in Ampère . . .	600	700	850		1000				

Der geringste zulässige Querschnitt isolierter Kupferleitungen, außer in und in Beleuchtungskörpern, ist 1 qmm; an und in Beleuchtungskörpern noch 0,75 qmm. Für schwache Ströme beträgt also die Stromdichte 4 Amp./qmm, für Ströme von 100 Amp. dagegen nur 2 Amp./qmm. Über das Verhältnis zwischen Querschnitt und der abkühlenden Oberfläche des Leiters vergl. S. 31.

2. In Rücksicht auf den Spannungsverlust in der Leitung, der nach der Gleichung (9) berechnet wird.

Führt vom Hauptschaltbrett des Maschinenraumes eine Leitung nach der Verteilungsstation, an welche 120 Gföhlampen (110 Volt, 16 N.K., 0,8 A.) angeschlossen sind, und beträgt die Leitungslänge 60 m, so ist die Länge von Hin- und Rückleitung zusammen 120 m. Sind alle Lampen eingeschaltet, so fließt in der Leitung der Strom 60 A. Für diese Stromstärke ist der kleinste zulässige Querschnitt 25 qmm. Der Spannungsverlust in der Leitung würde  $= \frac{120 \cdot 60}{25 \cdot 60} = 4,8$  Volt betragen, wobei  $\lambda = 60$  angenommen

ist. Abgesehen von dem Spannungsverluste in den Verteilungsleitungen vom Verteilungskasten nach den einzelnen Lampen beträgt also der Spannungsverlust in der Leitung etwa 4,4 Proz. der Nutzspeisung. Sollen die Lampen mit 110 Volt brennen, so müßte die Klemmenspannung der Dynamo auf etwa 115 Volt gehalten werden. Wird von den 120 Lampen jedoch die Hälfte Zahl der Lampen ausgeschaltet, so sinkt der Spannungsverlust auf den kleinen Betrag, und wenn die Maschinenspannung konstant auf 115 Volt gehalten wird, brennen die Lampen mit einer zu großen Spannung und Stromstärke (vergl. § 90). Der Spannungsverlust soll nur etwa 2 bis 3 Proz. betragen. Legen wir den letzteren Wert zugrunde, so ergibt sich für den vorliegenden Fall der Leitungsquerschnitt aus der Gleichung

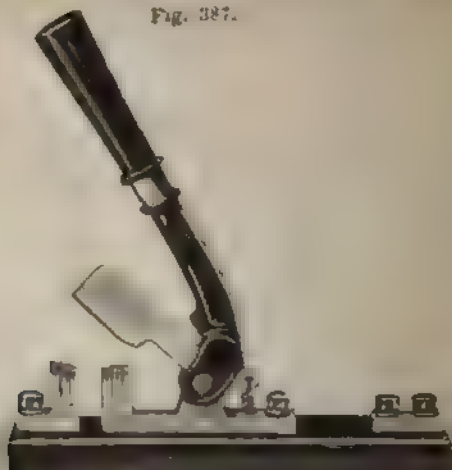
$$3,3 = \frac{120 \cdot 60}{60 \cdot q} ; \quad q = \frac{120}{3,3} = 36,4 \text{ qmm.}$$

Demnach wäre unter den Normalquerschnitten ein solcher von 35 qmm den vorliegenden Fall zu wählen.

§ 120. Ausschalter. Die Ausschalter dienen zur raschen und einfachen Herstellung der Verbindung zwischen den Hauptleitungen mit der Maschine bzw. den Sammelschienen des Schaltbrettes und zur Herstellung der Verbindungen zwischen den Hauptleitungen und den Abzweigungen, sowie zum Aufheben dieser Verbindungen.

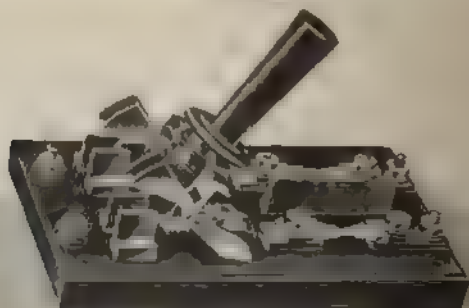
Als Ausschalter am Hauptschaltbrett des Maschinenraumes kommt hauptsächlich zur Anwendung die Hebelausschalter. Fig. 387 stellt

Fig. 387.



einpoligen Hebelausschalter für die maximale Stromstärke 50 Ampere von Voigt u. Haeffner Bockenheim, dar. Fig. 388 ist ein zweipoliger Hebelausschalter für Stromstärken bei 25 Amp mit Sicherung von derselben Firma, ebenso Fig. 389 ein einpoliger Hebelausschalter für Stromstärken bis 400 Amp.

Fig. 388.



Alle diese Ausschalter kommen nur in Anlagen bis 250 Volt Betriebsspannung zur Anwendung.

**Drehknopfausschalter.** Fig. 390 stellt einen einpoligen Drehknopfausschalter (Voigt u. Haeffner, Bockenheim) für 110 Volt und Ströme bis 1 Amp. dar. Ausschalter dieser Art dienen zum Ein- und Ausschalten einzelner Glühlampen sowie Gruppen derselben. Fig. 391 zeigt einen zweipoligen Drehknopfausschalter, derselben Firma.

In Fig. 392 bis 396 sind die Installationsschalter der Firma Siemens  
Halske für trockene Räume dargestellt. Die Schalter der Type H be-

Fig. 389.



Fig. 390.

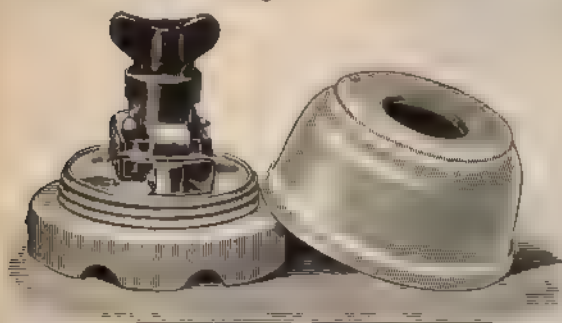
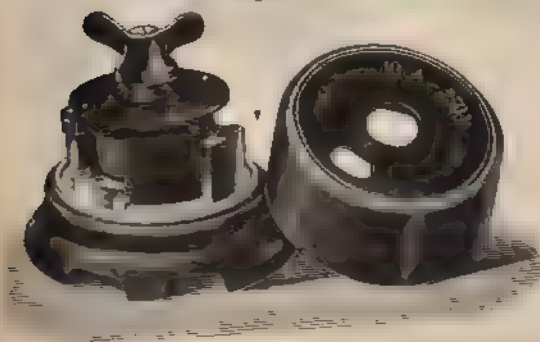


Fig. 391.



sitzen Sockel, Kappen und Griffe aus isolierendem Material. Die Ausschalte- und Stromschlußstellungen sind durch einen Pfeil auf dem roten

Fig. 392.



Fig. 393a.



Griff und durch Kreise bzw. Pfeile auf den Kappen sichtbar gemacht. Alle Kontaktstifte sind in diesen Schaltern federnd angeordnet, und zwar sind je zwei einen Kontakt bildende nach entgegengesetzten Richtungen federnd, so daß die Stromunterbrechung sicher erfolgen muß.

Fig. 393b.

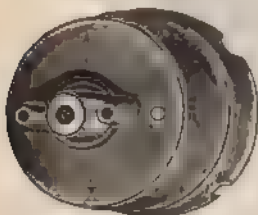


Fig. 394.



Fig. 395.



Fig. 392 stellen einpolige Ausschalter der Type H und S dar. Fig. 393a und b stellen einen ebensolchen zweipoligen Ausschalter Type S dar.

Fig. 396.



Fig. 397.



Fig. 398.



In Fig. 394, 395 und 396 sind Installationsumschalter der Firma Siemens u. Halske für Stromstärken bis 20 Ampere dargestellt. Diese Schalter dienen für folgende Zwecke (siehe nebenstehende Tabelle)

Die Installationschalter für feuchte Räume (Fig. 397) sind bis auf die Leitungseinführung ebenso konstruiert wie die oben beschriebenen. Die Schalter Fig. 398 dienen für Rohrmontage in nassen und feuchten Räumen.

Dosenausshalter werden für die Stromstärken 2, 4, 6, 10, 15, 20, 30 Ampere hergestellt, sowie für Spannungen bis 125, 250 und 500 Volt.

Nr.	Schaltung	Die Schalter dienen
1		zum Ein- und Ausschalten einer Lampengruppe von zwei Stellen aus — Hotelschaltung — oder zum wechselseitigen Umschalten zweier Lampengruppen von einer Stelle aus (keine Unterbrechungsstellung) Schalter (Fig. 395)
2		zum wechselseitigen Ein- und Ausschalten zweier Lampengruppen (eine Unterbrechungsstellung) Schalter (Fig. 394)
3		zum wechselseitigen Ein- und Ausschalten zweier Lampengruppen (zwei Unterbrechungsstellungen)
4		zum stufenweisen Ein- und Ausschalten zweier Lampengruppen (eine Unterbrechungsstellung) Schalter (Fig. 396)

§ 121. Umschalter. 1. Zweipolige Umschalter für Voltmeter und Präzisionsinstrumente für drei Stromkreise werden in der in Fig. 399 dargestellten Form von der A. E. G. Berlin hergestellt. Dieselben dienen z. B. dazu, die Spannungsdifferenzen zwischen den Abklemmen der Maschinen bzw. Akkumulatoren und die Spannungsdifferenz in der Lichtleitung mit demselben Voltmeter zu messen (vergl. § 132).

2. Umschalter für Maschinen. Fig. 400 stellt einen zweipoligen Umschalter der A. E. G. Berlin für drei Stromkreise und für Ströme bis 200 Ampère.

Die beiden äußeren großen Kontakte werden entweder an die Pole der Dynamo gelegt, und der Strom der letzteren kann in einen der drei voneinander getrennten Stromkreise, welche an die inneren kleineren Kontaktstücke gelegt sind, gesandt werden, oder die vorhandenen Dynamos (siehe § 131) sind an die inneren Kontakte zweipolig angeschlossen, während die an die beiden äußeren Kontaktstücke geschlossene Hauptleitung mit jeder der drei Dynamos in Verbindung gesetzt werden kann. Fig. 401 zeigt einen von derselben Firma gelieferten zweipoligen Umschalter für vier Stromkreise mit Unterbrechung für Ströme bis 400 Amp.

In Fig. 402 ist der Generalumschalter dargestellt, 6  
Anschluß von vier Dynamomaschinen.

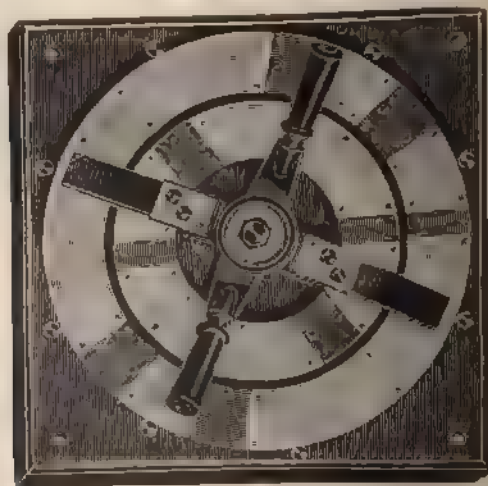
Fig. 399.

Fig. 400.



Jede der fünf mit Kurbeln drehbaren Wellen I bis V besteht aus  
in der Mitte voneinander isolierten Hälften, von denen jede vier  
arme hat, die um  $90^\circ$  gegeneinander gestellt sind.

Fig. 401.



Die vier Dynamos sind bezw. zwischen den Metallschienen  
2 2, 3-3, 4 -4 eingeschaltet. An die Enden der fünf Wellen und



teileitungen gelegt. Für die in Fig. 402 dargestellte Stellung der Wellen die Dynamo 3 mit allen fünf Hauptleitungen verbunden.

In Fig. 403 ist ein einpoliger Hebelumschalter von Voigt u. Haeffner die Verbindung des einen Maschinenpoles mit zwei Leitungen dargestellt. Maschinenpol ist dabei mit dem Drehpunkte des Hebels verbunden.

Fig. 402.

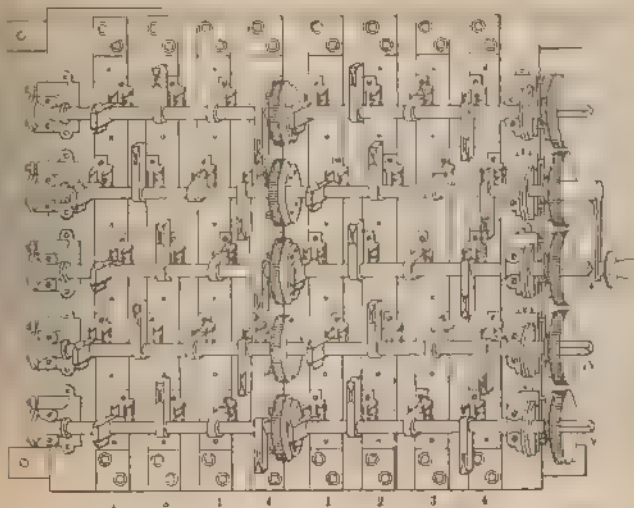


Fig. 403.



Für die Konstruktion der Um- und Ausschalter gelten nach Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker folgende Bestimmungen:

1. Die Konstruktion der Schalter muß derartig ausgeführt sein, daß dieselben nur in geschlossener oder in offener Stellung, jedoch nicht in einer Zwischenstellung stehen können. Hiervon sind jedoch Hebelschalter für mehr als 50 Amp., sowie alle Hebel-schalter in Betriebsräumen ausgenommen.
2. Das Ausschalten muß in solcher Weise erfolgen, daß die Bildung eines dauernden Lichtbogens unterbleibt.
3. Auf jedem Schalter soll die normale Betriebsstromstärke ange-



gegeben sein. Alle Metallkontakte sind dabei als Schleifkontakte auszubilden.

4. In Räumen, wo entzündliche oder explosive Stoffe vorkommen, sind Aus- und Umschalter überhaupt nicht oder nur unter zuverlässigem Abschlufs zu verwenden.

§ 122. Abschmelzsicherungen. Dieselben haben den Zweck, die Leitung selbsttätig zu unterbrechen, wenn die Stromstärke in derselben eine gewisse Grenze überschreitet. Durch die Abschmelzsicherung sind also die Leitung und die in derselben eingeschalteten Apparate vor zu großen Stromstärken geschützt. In den meisten Fällen enthalten die Abschmelzsicherungen auf einer feuersicheren Unterlage einen Streifen aus einer leicht schmelzbaren Metallegierung oder einen Silberdraht; beide sind meistens in einer Kapsel eingeschlossen oder doch von Schutzkästen derartig umgeben, daß sie von brennbaren Gegenständen feuersicher getrennt sind und auch eine Berührung durch Unbefugte ausgeschlossen ist. Alle Leitungen, die von der Schalttafel aus nach den Verteilungsstationen bzw. nach den aufgestellten Motoren führen, sind durch Abschmelzsicherungen zu schützen.

Die höchste zulässige Abschmelzstromstärke ergibt sich nach den Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker aus folgender Tabelle:

Drahtquerschnitt in qmm	Normalstromstärke der Sicherung in Ampère	Abschmelzstromstärke der Sicherung in Ampère	Drahtquerschnitt in qmm	Normalstromstärke der Sicherung in Ampère	Abschmelzstromstärke der Sicherung in Ampère
0,75	6	12	95	165	330
1	6	12	120	200	400
1,5	6	12	150	235	465
2,5	10	20	185	275	545
4	15	30	240	330	660
6	20	40	310	400	800
10	30	60	400	500	1000
16	40	80	500	600	1200
25	60	120	625	700	1400
35	80	160	800	850	1700
50	100	200	1000	1000	2000
70	150	280			

Die Sicherung kann für eine Leitung schwächer gewählt werden, als sie nach dieser Tabelle sein sollte.

Abschmelzsicherungen sind überall dort in der Leitung einzuschalten, wo der Querschnitt der Leitung in der Richtung nach der Verbrauchsstelle (Lampen oder Motor) kleiner wird, und dabei soll

einem Abstände von höchstens 25 cm von der Abzweigstelle die Sicherung angebracht werden. Ist das letztere nicht oder nur schwer ausführbar, so muß die von der Hauptleitung nach der Sicherung führende Leitung mit der Hauptleitung gleichen Querschnitt haben. Die Konstruktion der Sicherung muß derartig sein, daß die Bildung eines dauernden Lichtbogens unterbleibt, und daß die Verwendung zu starker Abschmelzsicherungen für eine Leitung ausgeschlossen wird.

Fig. 405 a.

Fig. 404 a.

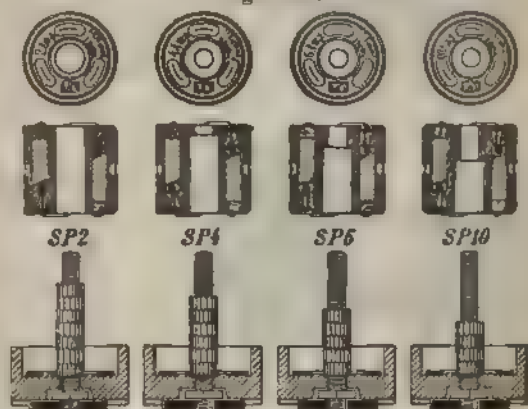
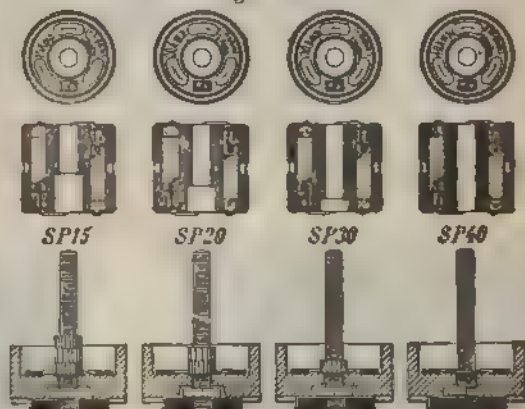


Fig. 405 b.

Fig. 404 b.



Es ist unstatthaft, die aus weichen plastischen Metallen hergestellten Sicherungstreifen direkt unter die Kontaktschrauben der Sicherung zu bringen, vielmehr sollen die Enden der Schmelzstreifen oder -drähte in besondere Kontaktstücke aus Kupfer oder Messing eingelötet sein, welche, sauber gereinigt von Oxyd, unter die Schrauben der Sicherung zu bringen sind. Die Normalstromstärke ist auf dem auswechselbaren Teile der Sicherung anzugeben.

Mehrere von den Verteilungsstationen auf den Schiffen ausgehende Leitungen können eine gemeinsame Sicherung von höchstens 6 Ampère Normalstromstärke erhalten. Dabei brauchen Abzweigungen von diesen Verteilungsleitungen, wenn dieselben auch geringeren Querschnitt haben, nicht besonders gesichert zu werden.

In allen Räumen, wo explosive Stoffe auftreten können, muß das Anbringen von Sicherungen unterbleiben.

Wir beschreiben zunächst die 8 Sicherungen von Siemens und Halske für Spannungen bis 250 Volt und Stromstärken bis 40 Ampère mit Patronen S. P. (Fig. 404). Diese Sicherungspatronen besitzen Schmelzdrähte aus Silber, die in ihrer ganzen Länge im Innern des aus Porzellan bestehenden

Fig. 404 a.

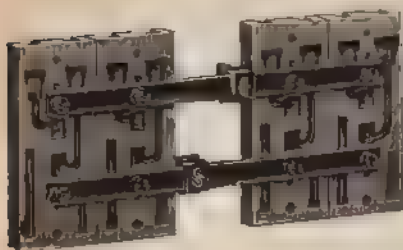


Fig. 404 b.



den, nach außen völlig abgeschlossenen Patronenkörpers liegen. Parallel zum Schmelzdraht ist ein nach außen hin sichtbarer Kenndraht angeordnet. Je beim Durchschmelzen der Sicherung ebenfalls durchbrennt und also leicht erkennen läßt, ob die Sicherung noch unverletzt oder durchgeschmolzen ist. Auch bei dem heftigsten Kurzschluß mit der höchsten zulässigen Betriebsspannung bildet sich kein dauernder Lichtbogen. Eine irrtümliche Verwendung von Patronen für zu große Schmelzstromstärke ist durch die mechanische Konstruktion ausgeschlossen. Die Unverwechselbarkeit wird dadurch erreicht, daß (siehe Fig. 405) in den Patronen verschiedene große Ausparungen

Fig. 404 c.

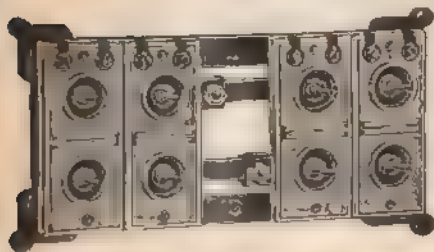


Fig. 404 d.



gebracht sind, denen entsprechende Ansätze auf dem Patronenbolzen gegenüber stehen, welche durch 5 mm hohe Stellmutter gebildet werden. Jede Normalstromstärke entspricht eine bestimmte, auf den Patronen angegebene Zahl von Stellmutter. Die 8 Sicherungen werden für den Aufbau von Verteilungssicherungen für die Verteilungsstationen verwendet (Fig. 405 a b).

Fig. 406 d). Die Messingschienen, an welche die Hauptleitungen vom Maschinenraum angeschlossen werden, sind in Verbindung mit den Patronenbolzen (Fig. 406 a). Sämtliche vier Zweigleitungen (Fig. 406 d) sind zweipolig gesichert. Solche Verteilungssicherungen werden auch für eine größere Zahl von Zweigleitungen hergestellt. Die Montage der Verteilungssicherungen erfolgt auf Holzrahmen, auf Gips- oder Marmortafeln.

In Fig. 407 sind einpolige Ausschalter (Fig. 407 a) in Verbindung mit Sicherungen und Stromindikatoren in Verteilungskästen (Fig. 407 b) montiert. Die Stromindikatoren bestehen der Hauptsache nach aus einer Spule mit Eisenkern und einem drehbaren Magnet, der bei stromloser Spule schräg sich stellt und hinter einer rechteckigen Bleche liegt. Fließt Strom durch die Spule, so wird der Magnet so weit gedreht, daß er horizontal liegt und sichtbar wird.

Fig. 407 a.

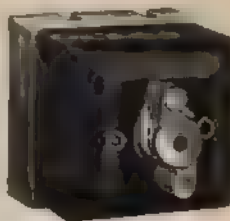
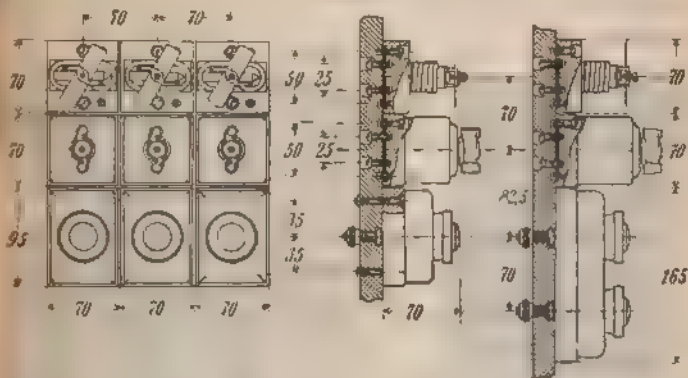


Fig. 407 b.



Universal-A. E. G. - Sicherungen. Fig. 408 stellt die kleinen Sicherungen dar, für welche die Schmelzstößel (Fig. 409) für Spannungen bis

Fig. 408.



6 Volt und Stromstärken bis 6 Amp. gebraucht werden. Die Schmelzstößel sind unverwechselbar durch die Länge des Gewindes und die Höhe der Kontaktschrauben (Fig. 409 a u. b). Fig. 410 stellt eine Normalsicherung der

A. E. G. Berlin dar, welche für Spannungen bis 550 Volt und Stromstärken bis 20 Amp. gebraucht werden kann

Fig. 409a.



Fig. 410



Fig. 409b.

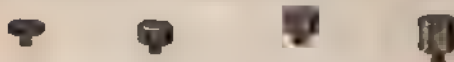
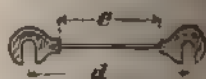
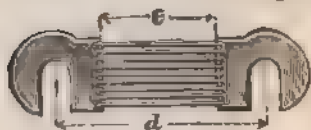


Fig. 411 gibt die Einrichtung für Sicherungen mit Schutzkasten in Schiefer, die für die vom Schaltbrett abzweigenden Leitungen verwendet werden.

Fig. 411.



Fig. 412.



werden, ebenso auch zur Sicherung der Dynamo dienen. Für diese Sicherungen werden die in Fig. 412 dargestellten Silberdrahtschmelzen für Stromstärken bis 1000 Amp. verwendet.

§ 123. Verzweigungskästen für Verteilungsstationen. Aufschlußdosen. Für die elektrischen Leitungen an Bord hat sich für Leitungen an Land sehr gebräuchliche Verbindung der Abzweigungskästen für Verteilungsstationen.



ungen durch Lötung oft als ungeeignet erwiesen, und zwar wegen der Störungen im Schiffskörper und auch wegen der Schwierigkeit des Auffindens schlechter Lötstellen bei den oft sehr eng zusammenliegenden Leitungen. Für die Gänge und bewohnten Räume der Passagierdampfer wählt man die in Fig. 406 dargestellten Verteilungssicherungen selbst Ausschalter von Siemens und Halske, A. G., Berlin, oder ähnliche Verteilungskästen anderer Firmen. Für Maschinen- und Kesselräume, wie für Außenleitungen u. s. w. benutzt man auf Kriegs- und Handelsschiffen die in Fig. 413 u. ff. dargestellten wasserdichten Abzweigungskasten mit Sicherungen.

Fig. 413.

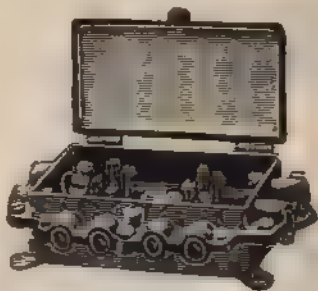


Fig. 413 ist die Ausführung der Sicherungskasten für Abzweigungen nach Glühlampen. Da die Leitungen in vielen Fällen als Ringleitungen gelegt werden müssen, so dienen die Stützen zu beiden Seiten des Kastens zur Ein- und Weiterführung der Leitungen.

Fig. 414.



Fig. 414 zeigt die Einrichtung eines Sicherungskastens für acht Glühlampen, jede Abzweigung ist dabei zweipolig gesichert. Die Abschmelzsicherungen werden an den vertikal gestellten Kontaktstücken durch Schrauben gesichert. Fig. 413 u. 414 sind Sicherungskasten von Ed. J. v. d. Heyde, Berlin.

Anschlussdosen. Die in Fig. 413 u. ff. dargestellten Anschlussdosen dienen zum Einschalten transportabler Lampen, Ventilatoren u. a. w.

Fig. 415.



Fig. 416a.



Fig. 416b.



Fig. 417a.



Fig. 417b.



Fig. 417d.



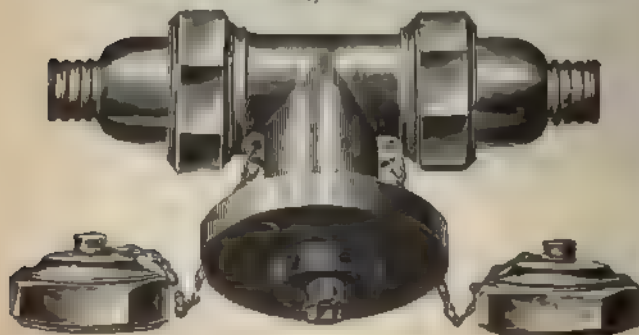
Fig. 418.



Fig. 419.



Fig. 420.





In Fig. 415 ist eine Anschlußdose für Stehleuchten und in Fig. 416 sind Anschlußdosen für Kammern dargestellt, welche von der Firma Ed. J. von Heyde, Berlin, geliefert werden. Von derselben Firma werden die Anschlußdosen (Fig. 417) für Maschinen und Kesselräume hergestellt, ebenso wie die Anschlußdosen (Fig. 418) für Topp-, Positions- und Fallreep-Laternen wasserdichter Konstruktion. Für die Anschlußdosen (Fig. 417 und 418) der Doppelkontaktstöpfe mit Verschraubung (Fig. 419) geeignet.

Fig. 420 stellt eine zweifache Anschlußdose mit Doppelkontaktstöpfen und Verschraubungen zur Beleuchtung von Torpedobooten u. s. w. dar. In wohnen Räumen dienen für transportable Lampen die in Fig. 421 dargestellten Anschlußdosen aus Porzellan.

### Fünfzehntes Kapitel.

## Stromerzeugung und Verteilung der elektrischen Energie.

**§ 124. Allgemeines. Arten der Verteilung.** Bei der direkten Verteilung der elektrischen Energie wird der elektrische Strom vom Energieerzeuger (Dynamo) durch die Leitungen ohne Umwandlung an die Energieaufnehmer (Lampen und Motoren) abgegeben; Dynamo und Energieaufnehmer liegen in demselben Stromkreise.

Bei der indirekten Verteilung liegen dagegen Energieerzeuger (Dynamo) und Energieaufnehmer in getrennten Stromkreisen. Bei der indirekten Verteilung, die auf Schiffen fast ausschließlich zur Anwendung kommt, haben wir eine unmittelbare Verbindung der Energieerzeuger mit dem Energieabnehmer, dagegen bei den indirekten Systemen der Verteilung nur eine mittelbare Verbindung zwischen ihnen.

Bei beiden Arten der Verteilung kann man Gleichstrom oder Wechselstrom verwenden.

Bei der indirekten Verteilung handelt es sich stets um eine Umwandlung des vom Energieerzeuger gelieferten (primären) Stromes durch Umformer (Transformatoren oder Motorgeneratoren).

Der Transformator ist ein Apparat für Wechselströme ohne bewegte Teile, welcher die zugeführte elektrische Leistung in elektrische Leistung umwandelt, wobei nur die die Leistung bestimmenden Faktoren, Spannung und Stromstärke, verändert werden (vergl. § 76). Motorgenerator ist dagegen eine Doppelmaschine, die aus der direkten mechanischen Kuppelung eines Motors mit einem Generator besteht. Dadurch kann der dem Motor zugeleitete Wechselstrom (einphasiger oder mehrphasiger) in Gleichstrom verwandelt werden und umgekehrt; auch kann ein Gleichstrom mit höherer Spannung in solchen von niedriger Spannung und umgekehrt verwandelt werden.

Fig. 422 zeigt einen Drehstrom-Gleichstromumformer der Union-Elektrikgesellschaft, der aus einem Drehstrommotor und einer damit direkt kuppelten Gleichstromdynamo besteht.

Zu den Motorgeneratoren gehört auch der rotierende Umformer, welchem sich die Umwandlung in einer einzigen Maschine vollzieht.

deren Anker z. B. Wechselstrom oder Drehstrom durch Schleifringe erzeugt, während er Gleichstrom an den Bürsten seines Kollektors abgibt.

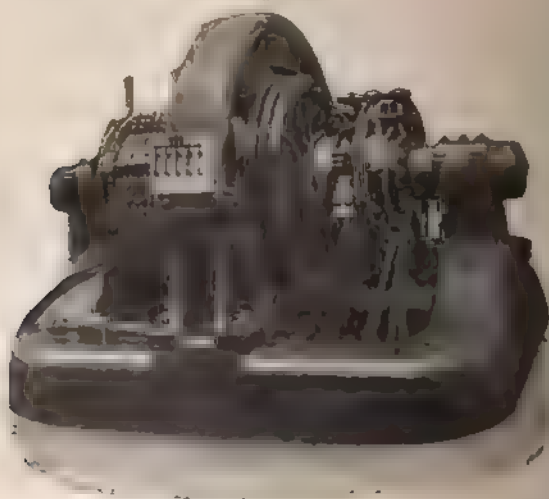
Fig. 423 stellt einen rotierenden Umformer der Union-Elektrotechnische Gesellschaft dar, der dreiphasigen Wechselstrom in Gleichstrom verwandelt.

Fig. 422.



Da die hochgespannten Wechselströme unter Anwendung von Transformatoren sich besonders für die Energieverteilung auf weite Entfernungen eignen (Kraftübertragung Laufen - Frankfurt a. M. mit einer Länge von 175 km), so geschieht die Energieverteilung in diesen Fällen zunächst

Fig. 423



dreiphasige Wechselströme hoher Spannung, die dann durch Transformatoren in solche mit der gebräuchlichen Betriebsspannung und eventuell mit anderen Umformern in Gleichstrom umgewandelt werden, wenn dieser praktischen Gründen (z. B. zum Laden eines Akkumulators, für chemische Betriebe u. s. w.) erforderlich ist.

Derartige Umformer kommen auch in solchen Betrieben, z. B. an Bord Schiffe zur Anwendung, wo Gleichstrom mit der Spannung 110 Volt in Wechselstrom mit der Spannung 20 bis 32 Volt zum Betriebe der Schiffs-telegraphen umgewandelt wird.

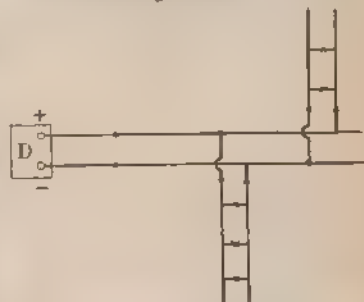
Ein Mittelglied zwischen den Systemen mit direkter und denen mit indirekter Verteilung sind die Systeme mit Akkumulatorenbetrieb, wo der einzige Stromerzeuger die Dynamo ist und z. B. nach Einstellung des Maschinenbetriebes oder bei Störungen an der Dynamo der Akkumulator für die Stromlieferung übernimmt.

Nach der Schaltung der Lampen u. s. w. unterscheiden wir:

1. Parallelschaltung (Fig. 424, vergl. S. 90). Der Stromverbrauch steigt mit der Zahl der eingeschalteten Lampen und Mo-

Fig. 424.

ten. Zwischen zwei Punkten der von der Maschine *D* ausgehenden Hauptleitungen oder deren Abzweigungen ist überall die gleiche Spannungsdifferenz vorhanden, von dem geringen Spannungsverluste der Leitung abgesehen. Die parallel geschalteten Lampen sind sämtlich für die gleiche Spannung hergerichtet, ihr Stromverbrauch kann verschieden sein. Die Lampen können einzeln oder in Gruppen ausgeschaltet werden, ohne daß dadurch die übrigen ge-



ört werden, d. h. die Löscharkeit dieses Systems ist sehr groß. Die Hauptleitungen starke Ströme führen, so ist das Kupfergewicht der Leitungen verhältnismäßig groß gegenüber dem System der

2. Serienschaltung (Fig. 425), bei welcher derselbe Strom nacheinander durch die Lampen fließt. Die Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen der Dynamo ist gleich der Summe der in den einzelnen Lampen verbrauchten Spannungen, vermehrt noch um den Spannungsverlust in der Lei-

Fig. 425.



gung. Die Lampen sind bei dieser Schaltung, die sich durch Einfachheit und geringes Kupfergewicht der Leitungen auszeichnet, sehr abhängig voneinander. Für den Betrieb der Glühlampen und der Motoren ist die Parallelschaltung (Betrieb mit konstanter Spannung) am vorteilhaftesten. Über die Serienschaltung der Bogenlampen siehe S. 103.

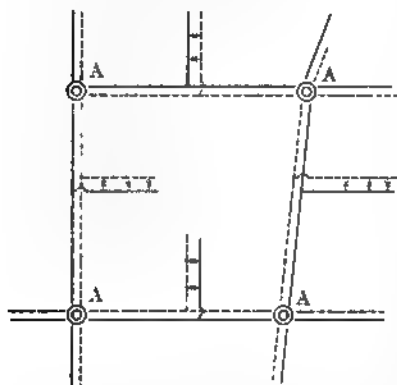
Nach der Zahl der Leiter können wir die Leitungssysteme einteilen in Zwei-, Drei- und Mehrleitersysteme. Von diesen hat das Zweileitersystem mit Gleichstrom die größte Bedeutung für den elektrischen Betrieb auf Schiffen. Die meisten städtischen Centralen, elektrischen Anlagen großer Fabriken und Werften sind dagegen

vielfach nach dem Dreileitersystem mit Gleichstrom ausgeführt. Dreileitersysteme mit den Spannungen 80 und 160 Volt finden sich auch auf amerikanischen Kriegsschiffen (vergl. Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 54, S. 1606 u. f., 1900).

§ 125. Zweileitersystem (Fig. 424). Dabei sind durch das mit elektrischer Energie zu versorgende Gebiet zwei Leitungen (Hin- und Rückleitung) gezogen und verzweigt bis zu den einzelnen Lampen, die zwischen den beiden Leitungen bzw. deren Abzweigungen parallel geschaltet werden. Meist werden diese Anlagen mit der Betriebsspannung 110 Volt, für Anlagen an Land auch mit der Spannung 220 Volt und mehr ausgeführt.

Das Zweileitersystem kann als direktes System für Gleich- und Wechselstrom verwendet werden. Als indirektes System wird dasselbe für einphasigen Wechselstrom bei Anwendung von Transformatoren benutzt (vergl. § 76).

Fig. 426.



Energie zu versorgende Bereich größer, so wählt man 200 bis 220 Volt als Betriebsspannung oder geht zum Dreileitersystem über.

§ 126. Dreileitersystem. Denkt man zwei Zweileiternetze von gleicher Beschaffenheit und gleicher Verteilung der Lampen (Fig. 427) zusammengefügt, so daß beide Maschinen in Reihe geschaltet sind, so entsteht das System (Fig. 428) mit drei Leitern: + - Außenleiter, Mittel- (Null-) Leiter und — - Außenleiter. Der Mittelleiter ist stromlos, wenn jeder Lampe auf der einen Seite desselben eine gleich beschaffene auf der anderen Seite entspricht, oder wenn die Belastung zu beiden Seiten des Mittelleiters dieselbe ist; bei ungleicher Belastung beider Seiten führt der Mittelleiter die Differenz der Ströme in den Außenleitern.

Der Mittelleiter kann den halben Querschnitt der beiden Außenleiter erhalten, wenn große Belastungsdifferenzen zwischen beiden Seiten nicht vorkommen. Die Spannungsdifferenz zwischen dem Nullleiter und jedem

Außenleiter beträgt 110 Volt, seltener noch 220 Volt; zwischen den Außen-  
leitern dagegen 220 bzw. 440 Volt. Ist der Mittelleiter von gleichem Querschnitt  
wie die Außenleiter, so ist die Lösbarkeit der Lampen so unbeschränkt  
wie im Zweileitersystem. Die Verbrauchsstellen werden nach Möglichkeit  
angeschlossen, daß beide Seiten annähernd gleichmäßig belastet sind.

Bei gleicher Zahl der eingeschalteten Lampen ist

1. im Dreileiternetz für den in Fig. 428 dargestellten Fall gleicher  
Belastung beider Seiten die Stromstärke nur halb so groß, wie im

Fig. 427.

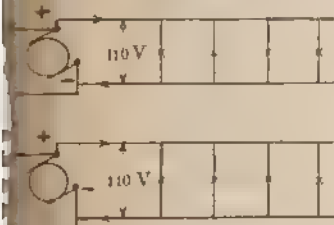
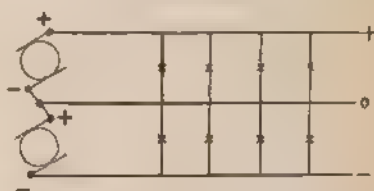


Fig. 428.



2. im Dreileiternetz bei gleichem prozentuellen Spannungsverluste  
der Leitung der Betrag dieses Spannungsverlustes doppelt so groß,  
wie im Zweileiternetz.

Um den Vorteil der höheren Spannung deutlich hervortreten zu lassen,  
nehmen wir 1000 Glühlampen à 16 N.E., 110 Volt, 0,5 Amp.

1. im Zweileiternetz mit 220 Volt schalten, wobei stets zwei Lampen  
in Reihe sich befinden; Stromstärke insgesamt 250 Amp. Maximaler  
Spannungsverlust 4,4 Volt;
2. im Zweileiternetz mit 110 Volt; wobei die Lampen einzeln parallel  
geschaltet sind. Stromverbrauch insgesamt 500 Amp. Maximaler  
Spannungsverlust in der Leitung 2,2 Volt,

in der höchste Spannungsverlust in der Leitung in beiden Fällen gleich  
prozent. der Betriebsspannung sein darf. Bedeutet  $e$  den Spannungsverlust  
der Kupferleitung von der Länge  $L$  und dem Querschnitte  $q$  bei der  
Stromstärke  $i$ , so wird

$$e = \frac{iL}{60 \cdot q}, \text{ also } q = \frac{iL}{60 \cdot e}.$$

Der Vergleich der Zahlen in dem obigen Beispiel ergibt sogleich, daß  
die Spannung 220 Volt der Querschnitt bei derselben Leitungslänge auf  
vierten Teil reduziert werden kann.

Der Vorteil des Dreileiternetzes mit  $2 \times 110$  Volt gegenüber dem Zwei-  
leiternetz mit 110 Volt ist nicht ganz so groß bezüglich des Kupfergewichtes  
der Leitungen wie in diesem Beispiel, da zu den zwei Leitungen bei 220 Volt  
ein Mittel- (Null-) Leiter hinzutritt.

Dreileiternetze mit 220 Volt Gesamtspannung eignen sich daher zur  
Energieverteilung in Bereichen von 1200 bis 1800 m Radius. An Stelle der  
gleich beschaffenen Maschinen (Fig. 428) können auch zwei gleiche  
gleich geschaltete Akkumulatorenbatterien treten; die Ladung der ganzen  
Akkumulatorenbatterie wird dann mit einer Nebenschlußdynamo ausgeführt,  
s. Müller, Elektrotechnik.

deren normale Spannung 220 Volt beträgt. Zur Zeit des größten Stromverbrauches sind Maschine und Akkumulator parallel geschaltet (vergl. § 132).

**§ 127. Schaltung der Dynamos und Verbindung derselben durch das Schaltbrett mit dem Leitungsnetz.** Für kleine elektrische Anlagen genügt meistens eine Dynamo mit Nebenschluß- oder Compoundwicklung.

Um eine genügende Reserve beim Schadhaftwerden einer Maschine zu haben, ist es vorteilhaft, auch auf kleineren Passagierdampfern mindestens zwei Dynamos aufzustellen, von denen jede etwa zwei Drittel des höchsten Verbrauches an Energie im Netze liefern kann.

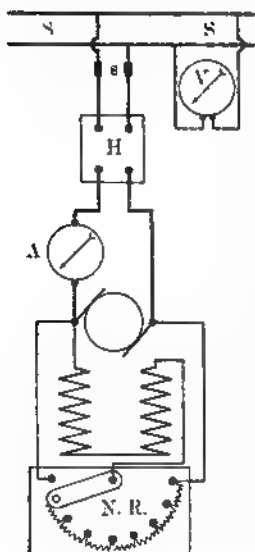
Für größere Anlagen werden stets zwei oder mehrere Dynamos aufgestellt, die entweder zwischen zwei Sammelschienen parallel geschaltet werden können, oder auf welche durch Umschalter (Generalumschalter) nach freier Wahl die verschiedenen Hauptstromkreise für Licht- und Kraftbetrieb verteilt werden können.

Das Parallelschalten der Nebenschlußdynamos ist einfach auszuführen, erfordert jedoch immerhin ein geschultes Personal; einfacher ist dagegen die Verteilung der elektrischen Energie durch Umschalter, wobei jede Maschine ganz unabhängig von jeder anderen auf den ihr durch den Umschalter zugewiesenen Stromkreis arbeitet (siehe ferner § 131).

Wir betrachten zunächst eine

**§ 129. Anlage mit einer Dynamo mit Nebenschlußwicklung (Fig. 429).** SS sind die Schienen des Schaltbrettes, von denen die Hauptleitungen abzweigen und die

Fig. 429.



SS sind die Schienen des Schaltbrettes, von denen die Hauptleitungen abzweigen und die durch die Sicherungen *s* und den zweipoligen Ausschalter *H* mit der Maschine verbunden sind. Die Regulierung der Spannung geschieht von Hand mittels des Widerstandes *NR* (vergl. § 41). Beim Abschalten der Magnetspulen ist die Magnetwicklung in sich kurz geschlossen, so daß der entstehende Extrastrom (vergl. § 30) nicht die Wicklung durchschlagen kann oder sonst zu einer Funkenbildung Veranlassung gibt.

**§ 130. Zwei oder mehrere Nebenschlußdynamos in Parallelschaltung (Fig. 430).** Beide Maschinen sind durch Leitungen, welche zweipolige Sicherungen *s* und Hebelausschalter *H* enthalten, mit den Sammelschienen *SS* des Schaltbrettes verbunden. Für jede der beiden Maschinen wird ein Ampèremeter (*A*<sub>1</sub> und *A*<sub>2</sub>) einge-

schaltet. Befindet sich die Maschine I im Betriebe, und steigt der Stromverbrauch über die Leistung derselben hinaus, so wird II parallel geschaltet. Nachdem die Dynamo II auf die richtige Tourenzahl gebracht ist, wird durch den Regulator NR zunächst ihre Spannung so reguliert, daß sie etwa 1 bis 2 Volt kleiner ist als die Spannung der Dynamo I, dann erfolgt der Anschluß an die Sammelschienen. Die Vergleichung der Spannungen geschieht mit dem Voltmeter *V* nebst zugehörigem Umschalter (vergl. Fig. 399). Dabei wird zunächst die Dynamo II Strom von den Sammelschienen erhalten, also als Motor laufen. Durch den Nebenschlußregulator von II wird nun die Spannung der Dynamo II langsam erhöht, so daß sie allmählich an der Stromlieferung teilnimmt. Die Bedingung eines ruhigen Parallelbetriebes erfordert, daß die antreibenden Maschinen (Dampfmaschinen u. s. w.) sorgfältig wirkende Regulatoren haben, so daß bei eintretenden Belastungsänderungen die Tourenzahl möglichst konstant bleibt.

Durch die Nebenschlußregulatoren wird die Spannung der Maschinen nachträglich so eingestellt, daß beide Maschinen entsprechend ihrer Leistung an der Stromlieferung teilnehmen. In den meisten Fällen sind beide Maschinen von derselben Größe, so daß der Energieverbrauch auf beide gleichmäßig verteilt werden kann.

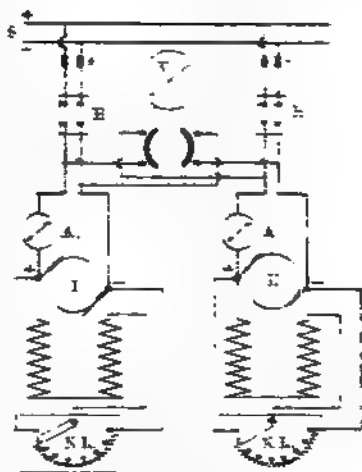
Soll die Dynamo II von den Sammelschienen abgeschaltet werden, so wird durch den Nebenschlußregulator ihre Spannung so weit erniedrigt, daß ihre Stromstärke fast auf Null herabgesunken ist, und dann erfolgt das Ausschalten mittels *H*.

In vielen Fällen ist es vorteilhaft, die Nebenschlußwicklung nicht wie in Fig. 430 an die Bürsten der Dynamo, sondern an die Sammelschienen *SS* zu legen, damit die Magnete der in Betrieb zu setzenden Maschine rasch durch den Strom der anderen Dynamo erregt werden.

In einer der von den Polklemmen der Dynamo nach den Sammelschienen führenden Leitungen kann ein selbsttätiger Minimalumschalter eingefügt werden, der die Leitung unterbricht, wenn die Dynamo stromlos wird.

§ 130. Zwei oder mehrere Dynamos mit gemischter Bewicklung in Parallelschaltung (Fig. 431). Das Parallelschalten dieser Dynamos ist umständlicher als das Parallelschalten der Nebenschlußmaschinen. Die Bürsten der beiden Maschinen, von denen die Hauptstromwicklung abzweigt, sind durch eine Ausgleichsleitung

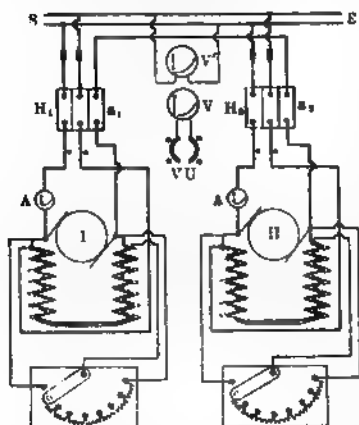
Fig. 430.





miteinander verbunden, die durch die Schalthebel  $a_1$  und  $a_2$  geschlossen wird. Ohne Anagleichleitung ist eine richtige Verteilung der Belastung auf die Dynamos unmöglich. Bei Unregelmäßigkeiten in den Tourenzahlen würde außerdem der Anker der schneller laufenden

Fig. 431.



Dynamo einen Strom von entgegengesetzter Richtung durch die Hauptstromwicklung der anderen Dynamo senden. Durch den Voltmeterumschalter  $VU$  kann das eine der Voltmeter an die von den Dynamos nach den zweipoligen Hebelanschlüssen führenden Leitungen angeschlossen werden. Die Verbindungspunkte sind in Fig. 431 besonders bezeichnet. Das zweite Voltmeter  $V'$  gibt die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Sammelschienen  $SS$  an.

Wir setzen voraus, daß die Maschine I im Betriebe ist, während II ausgeschaltet ist, die Schalthebel  $a_1$  und  $a_2$  sind also offen, ebenso der zwei-

polige Schalthebel  $H_2$ . Zunächst wird der Anker von II auf die richtige Tourenzahl gebracht, und dann werden die Hebel  $a_1$  und  $a_2$  geschlossen, so daß auch im Betriebe bei verschiedenen Belastungen der Dynamos der Strom in den Hauptstromwickelungen der einzelnen Dynamos gleichmäßig verteilt wird. Unter Beobachtung des Voltmeters  $V$  wird der Nebenschlußregulator von II so eingestellt, daß die Dynamo II fast die gleiche Polklemmenspannung wie die Dynamo I hat; ist letzteres erreicht, so wird die Maschine II an die Sammelschienen mittels  $H_2$  angeschlossen und nachträglich werden die Klemmenspannungen beider so reguliert, daß sie entsprechend ihrer Größe an der Stromlieferung teilnehmen.

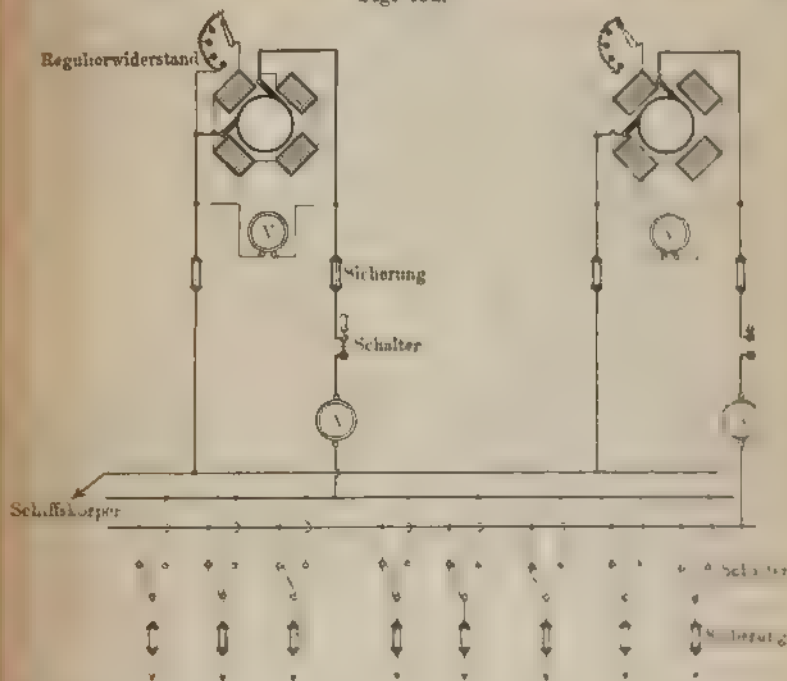
Um beim Parallelschalten die hinzuzuschaltende Maschine nicht sogleich stark zu belasten, vollzieht man das Einschalten, wenn ihre Spannung etwa 1 bis  $1\frac{1}{2}$  Proz. geringer ist, als die Spannung der im Betriebe befindlichen. Durch den Nebenschlußregulator erhöht man dann langsam die Spannung, so daß die Maschine allmählich an der Stromlieferung teilzunehmen beginnt.

Beim Abschalten einer Maschine verfährt man in genau umgekehrter Reihenfolge, indem zunächst der Ankerstrom durch Einschalten von Widerstand in den Nebenschluß fast auf Null gebracht ist. Dann wird der Hauptschalthebel  $H$  herausgenommen und weiter auch der Hebel  $a$ . Sodann kann die zugehörige Betriebsmaschine abgestellt werden.

§ 131. Betrieb mit mehreren Gleichstromdynamos, auf welche nach Wahl durch Umschalter die Stromkreise verteilt werden können. a) Schaltanlage (Fig. 432) für ein einpolig verlegtes Leitungsnetz, bei welchem also zur Rückleitung des Stromes der Schiffskörper benutzt wird.

Zwei vierpolige Nebenschlusfdynamos sind mit ihren negativen Polklemmen an die oberste der drei Kupferschienen des Schaltbrettes angeschlossen. Die positiven Polklemmen der Maschinen sind bezw. an die zweite und dritte Schiene gelegt. Von jeder der beiden unteren Schienen (Fig. 432) führen Verbindungen nach den Umschaltern, durch welche jeder

Fig. 432.



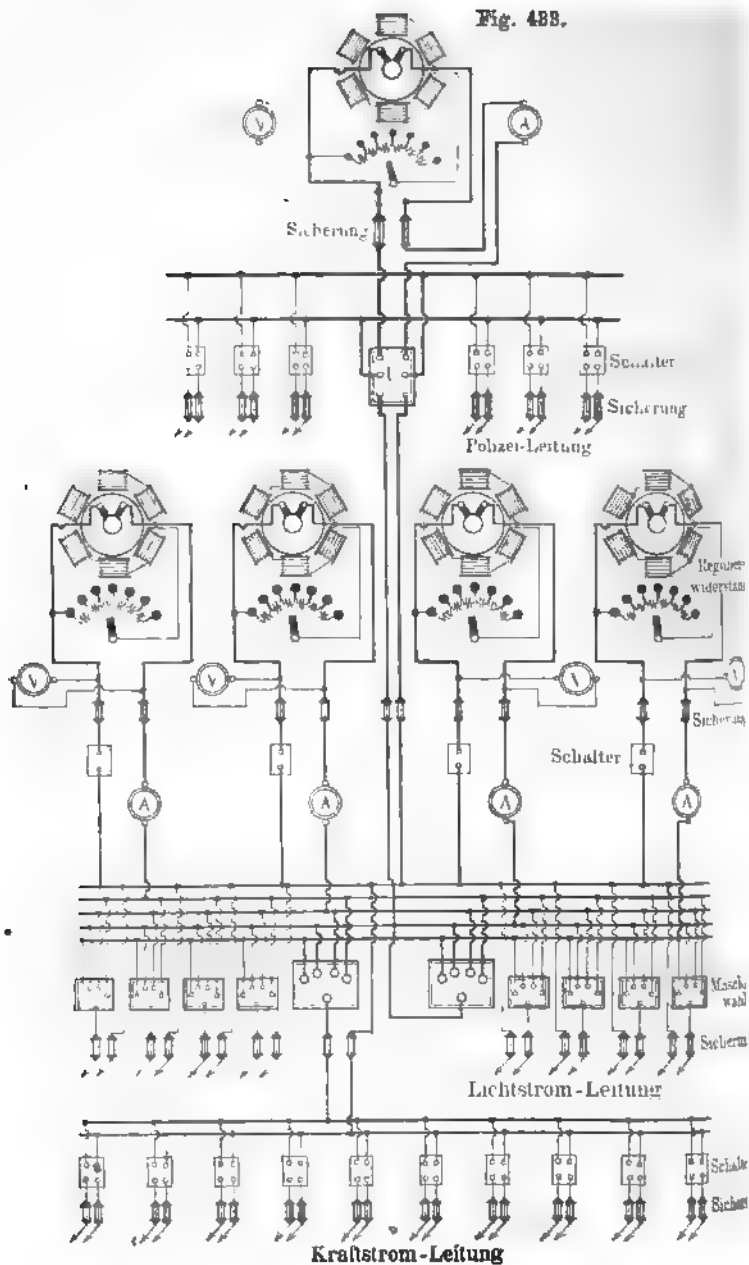
der acht Stromkreise nach Belieben mit der einen oder mit der anderen Maschine verbunden werden kann.

b) Schaltanlage für ein zweipolig verlegtes Leitungsnetz (Fig. 433). Im Hauptmaschinenraume sind vier Dampfmaschinen aufgestellt, deren negative Polklemmen sämtlich an die oberste Schiene des Hauptschaltbrettes gelegt sind. Die positiven Polklemmen dieser Maschinen sind bezw. mit der zweiten, dritten, vierten und fünften Schiene des Hauptschaltbrettes durch eisenbandarmierte Kabel verbunden. Acht Hauptleitungen bilden die an das Hauptschaltbrett angeschlossene Lichtstromleitung und können durch Umschalter (Maschinenwähler) nach Belieben mit jeder der vier Maschinen verbunden werden. Ebenso kann durch einen Umschalter für die Kraftstromleitung von jeder der vier Maschinen Strom entnommen werden.

Eine fünfte Dynamomaschine von derselben Leistung wie die übrigen befindet sich in einem besonderen Raume im Hauptdeck ober-

halb der Wasserlinie. In demselben Raume befindet sich auch das Schaltbrett, an dessen beiden Schienen die Polizeileitungen angeschlossen

Fig. 488.



ed. welche alle jene Leistungen umfassen, die zum Betriebe von Lampen dienen, die für den Dienst, sowie zur Sicherheit des Schiffes, der Passagiere und Besatzung installiert sind. Die Polzuleitungen erhalten durch einen Umschalter *U* entweder von der fünften Dynamo Strom oder auch von einer der vier im Hauptmaschinenräume aufgestellten Dynamos.

Neuerdings geht man auf den Schiffen der Kriegsmarine, wie auch der Handelsmarine mehr zur Parallelschaltung der Dynamos über. Dadurch wird eine bedeutende Vereinfachung der Anlage, wie auch des Schaltbrettes erzielt. Zugleich ist auch die Bedienung einfacher und übermüßlicher, als bei den Systemen mit Umschaltern der Fall ist; auch wird eine bessere Benützung der einzelnen im Betriebe befindlichen Maschinen ermöglicht.

### § 182. Dynamo und Akkumulator in Parallelschaltung.

Wenn an Bord nur eine Dynamo vorhanden ist, so wird nach den Vorschriften des Germanischen Lloyd für den Betrieb der in den Aufhängeleuchten und Topplaternen installierten Glühlampen, sowie den Betrieb der Schiffstelegraphen und der Telephone die Aufstellung einer Akkumulatorenbatterie empfohlen. Dadurch wird der Betrieb der vorhin genannten Apparate sehr unabhängig von Störungen der Dynamo. Für den Betrieb der Signallaternen wird meistens auf den Kriegsschiffen eine Batterie benutzt, deren Spannung gleich der normalen Klemmenspannung der Dynamo ist. Diese Batterie wird tagsüber aufgeladen und ist zur Zeit des Lichtbetriebes meistens an der Dynamo abgeschaltet. Als Stromquelle für die Telegraphen u. a. w. werden zwei Batterien von etwa 30 bis 36 Volt aufgestellt, die abwechselnd geladen werden. Bei diesen Betrieben treten also die Akkumulatoren als selbständige Stromquellen auf, die nicht mit der Dynamo parallel geschaltet sind.

In den elektrischen Beleuchtungsanlagen an Land, bei den Zweipol- und Dreileitersystemen, dagegen kommt der Akkumulator meistens in Parallelschaltung mit einer Nebenschlußdynamo vor. Darauf ist schon in § 84 hingewiesen.

Die Schaltung für eine Zweileiteranlage ist in Fig. 434 schematisch dargestellt.

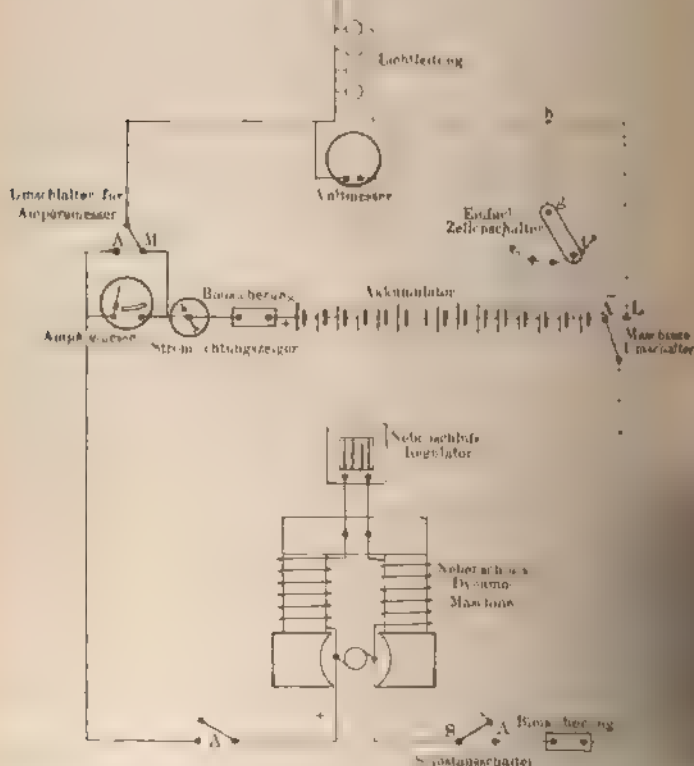
Die positive Polklemme der Nebenschlußdynamo ist durch den Strommesser, den Stromrichtungsanzeiger und die Bleisicherung mit dem positiven Pol des Akkumulators verbunden. In der Rückleitung zur Maschine hin liegt der selbsttätige Minimumausschalter *S.A.* (siehe § 84). Die Schaltung (Fig. 434) ist so ausgeführt, daß während der Ladung Lampen brennen können.

Schaltung zur Ladung: Die Dynamo wird mittels des Nebenschlußregulators auf eine Spannung gebracht, die 1 bis 2 Volt höher ist, als die der ganzen Akkumulatorenbatterie. Der Maschinenumschalter wird auf *A* gestellt. Der Hebelausschalter *A* wird geschlossen und sodann auch der selbsttätige Ausschalter *S.A.* Unter Beobachtung des Strommessers wird die Klemmenspannung der Dynamo so reguliert, daß der Ladestrom seine nor-

male Stärke annimmt. Man stellt sodann den Zellschalter so ein, daß die Spannung in der Lichtleitung den vorgeschriebenen Betrag hat. Es empfiehlt sich, ein Voltmeter nebst Voltmeterumschalter für drei Stromkreise zu verwenden, um mit demselben Voltmeter die Spannung zwischen den Polen des Akkumulators, zwischen den Polklemmen der Dynamo und in der Lichtleitung zu messen.

Schaltung zur Entladung, während die Dynamo außer Betrieb ist. Der Hebelschalter  $A$  und der Selbstschalter  $SA$  sind offen. Der Um-

Flg 434.



schalter für das Amperemeter ist auf  $A$  gestellt. Der Hebel des Zeigerschalters ist so eingestellt, daß in der Lichtleitung die Betriebsspannung vorhanden ist.

Die Batterie sei im Betriebe, und die Dynamo soll parallel geschaltet werden. Der Maschinenumschalter wird auf  $L$  gestellt. Überlegen des Schalthebels von  $A$  auf  $L$  muß so erfolgen, daß der Hebel nicht zu gleicher Zeit  $A$  und  $L$  berührt, weil sonst die zwischen  $A$  und  $L$  liegenden Zellen kurz geschlossen werden. Hierzu dient der in Fig. 1 dargestellte Umschalter mit Umschlaghebel.

Nachdem die Dynamo in Betrieb gesetzt ist, wird die Spannungsfeder in der Lichtleitung abgelesen, und die Spannung der Dynamo gleich

den der Lichtleitung reguliert. Sodann wird der selbsttätige Ausschalter und schließlich durch  $\Delta$  der Stromkreis geschlossen. Mittels des Nebenstromregulators wird reguliert, bis die Dynamo voll belastet ist.

**Beschreibung einiger Hilfsapparate für den Akkumulatorenbetrieb:**

1. Der Stromrichtungsanzeiger soll angeben, ob der Akkumulator geladen oder entladen wird. Das Gehäuse (Fig. 435) mit der in der vertikalen Ebene drehbaren Magnetnadel wird an die in Fig. 435 angegebene Stelle auf den stromführenden Leiter gesetzt, so daß die Magnetnadel in der Ruhelage und die Längsachsenrichtung des Leiters sich decken. Der Magnet hängt bei stromlosem Leiter vertikal.

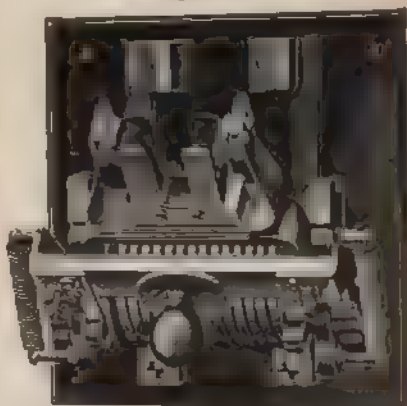
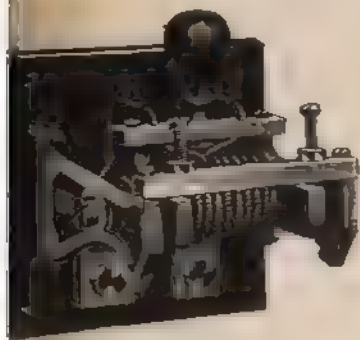
Fig. 435.



2. Selbsttätiger Minimumschalter. Während des Ladens taucht die drehbare Spule (Fig. 436) mit ihren Enden in zwei Quecksilbernäpfe, von denen das eine (Fig. 435) mit dem negativen Pol der Maschine, das andere mit dem Maschinenumschalter verbunden ist. Dabei wird der in der Spule liegende Eisenkern magnetisiert und gegen einen festen Eisenanker gezogen. Sinkt der Ladestrom auf Null, so wird der Eisenkern unmagnetisch, läßt den Anker los, und die Spule fällt zurück, wobei die Enden der Spule aus dem Quecksilber gehoben werden, und damit die Verbindung zwischen Akkumulator und Dynamo unterbrochen wird. Der selbsttätige Ausschalter soll verhindern, daß vom Akkumulator der Strom in die Dynamo gelangt, was beim Sinken

Fig. 436

Fig. 437.



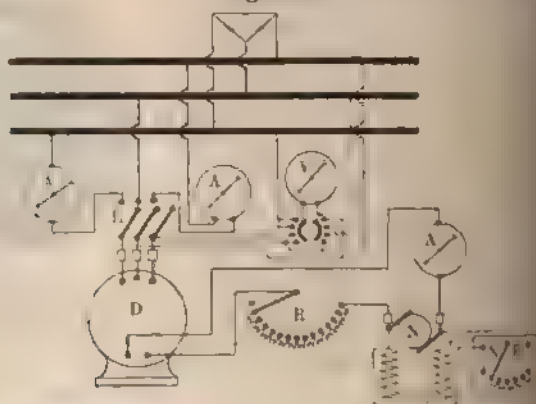
der Tourenzahl des Ankers eintreten kann. Ehe der Strom seine Richtung umkehrt, ist er für einen Augenblick gleich Null, in dem die Unterbrechung erfolgt. Fig. 436 ist ein selbsttätiger Minimumausschalter der Firma Voigt & Häfner, Bockenheim.

Für Bordzwecke eignet sich besser der in Fig. 437 dargestellte Minimumschalter derselben Firma, bei welchem die Quecksilbernäpfe durch feste Kontakte ersetzt sind und die stromlose Spule durch Federkraft aus-  
gehalten wird.

Über die Einrichtung der Zellschalter vergl. § 84

§ 133. Drehstromdynamo (Fig. 438). Die Drehstrom ist durch den dreipoligen Hebelausschalter *H* mit den dreien Schienen des Schaltbrettes verbunden. Eine Nebenschlußdynamo liefert den zur Erregung der Feldmagnete der Drehstrom erforderlichen Strom. Die Regulierung der Spannung der erfolgt dadurch, daß entweder durch den Regulator *R* im Stromkreis Widerstand ein- oder ausgeschaltet wird, oder daß der Widerstand des Magnetstromkreises der Erregung

Fig. 438.

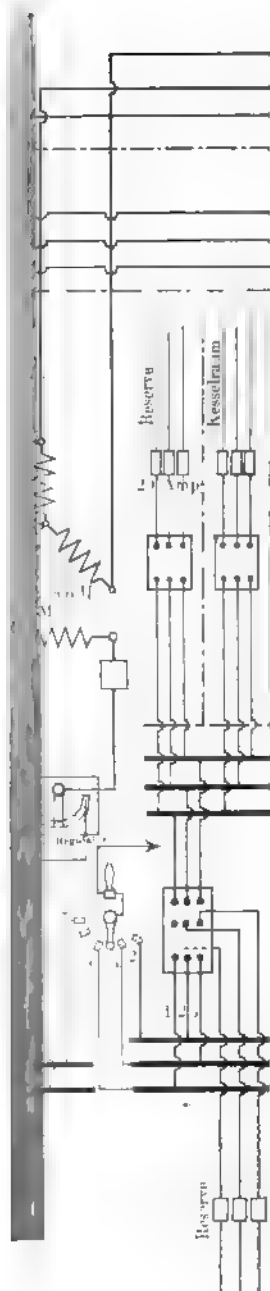


mittels *NR* reguliert wird. Die Regulierung der Spannung der Umlaufzahl des Aukers bzw. des Feldmagneten der Drehstromdynamo ist meistens ausgeschlossen wegen der damit verbundenen Änderung der Wechselzahl bei Motorenbetrieb.

§ 134. Drehstromdynamos auf dem Passagier- und dampfer „Königin Luise“ des Norddeutschen Lloyd (H). Die Anlage ist von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, geführt und enthält zwei Drehstromdynamos mit der Hauptspannung 180 Volt und  $3 \times 240$  Ampère. Auf dem Schaltbrette befinden sich einmal drei Sammelschienen, in dem an die oberen drei die Stromkreise der Beleuchtung, an die unteren drei die Motoren angeschlossen sind. Durch die rechts in der Schaltungsskizze dargestellten Umschaltvorrichtungen können die Stromkreise für Beleuchtung an die eine Maschine angeschlossen werden, während die andere den Strom für die Motoren liefert; auch kann jede der beiden Maschinen allein die Stromkreise für Beleuchtung und Kraftbetrieb übernehmen.

Zwei Nebenschlußdynamos (65 Volt, 50 Ampère), die an die zwei Sammelschienen parallel geschaltet werden können und zum Betrieb eines Scheinwerfers, sowie zur Notbeleuchtung werden können, liefern den Strom zur Erregung der Feldmagnete der Drehstromdynamos. Der Null- (neutrale) Leiter ist als





THE NEW  
LIBRARY  
OF THE  
NEW YORK  
PUBLIC  
LIBRARY

den Stromkreisen der Beleuchtung vorhanden, um Ungleichheiten den Belastungen der drei Phasen auszugleichen. Die Phasenspannung dabei 104 Volt.

§ 135. Ausgeführte elektrische Anlagen. 1. Auf dem Schnelldampfer „Deutschland“ der Hamburg—Amerika-Linie.

Auf dem auf der Werft der Stettiner Maschinenbau-Aktiengesellschaft erbauten Schnelldampfer „Deutschland“ sind für die Beleuchtung 50 Glühlampen und für den Betrieb verschiedener Hilfsmaschinen 23 Elektromotoren erforderlich. Zur Lieferung der elektrischen Energie sind auf Dampfdynamos aufgestellt, von denen jede aus einer stehenden Compound-Dampfmaschine von C. Dövel in Kiel in direkter Kuppelung mit einer Nebenaufdynamo der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, besteht. Die Umdrehungszahl der Maschinen beträgt 250 in der Minute, und die Spannung ist 110 Volt. Drei dieser Dampfmaschinen haben Cylinder von 300 und 400 mm Durchmesser bei 255 mm Hub, während jede der zugehörigen Dynamomaschinen bis zu 700 Amp. liefern kann. Die beiden übrigen etwas kleineren Maschinen haben die Cylinderdurchmesser 270 und 450 mm, den Hub 200 mm und die zugehörigen Dynamos liefern jede bis zu 400 Amp.

Zwei der größeren Dampfdynamos und die beiden kleineren sind unten auf dem Schiff in dem hinter dem Hauptmaschinenraum, zwischen den beiden Schraubenwellen liegenden Dynamomaschinenraum aufgestellt. Die fünfte Dynamo befindet sich in einem besonderen Räume, der ebenfalls vom Hauptmaschinenräume zugänglich ist, aber im Hauptdeck oberhalb der Wassereinrie liegt. Bei dieser Anordnung kann die obere Maschine noch einen großen Teil des zur Beleuchtung erforderlichen Stromes liefern, wenn die unteren Maschinen an der Stromlieferung verhindert sein sollten. Von den vier unteren Dynamos führen gummiisolierte und eisendrahtarmierte Kabel nach der Hauptschalttafel. Sämtliche vier Dynamos liegen mit einem Pol (negativen) an einer gemeinsamen Sammelschiene, welche in Fig. 440 gestrichelt gezeichnet ist. Dagegen sind die positiven Polklemmen der Dynamos in Verbindung bzw. mit den Schienen 1, 2, 3 und 4. Mittels der Umschalter  $u$  können die Stromkreise für die allgemeine Beleuchtung an jede der vier Maschinen angeschlossen werden oder in beliebiger Weise auf die vier Maschinen verteilt werden.

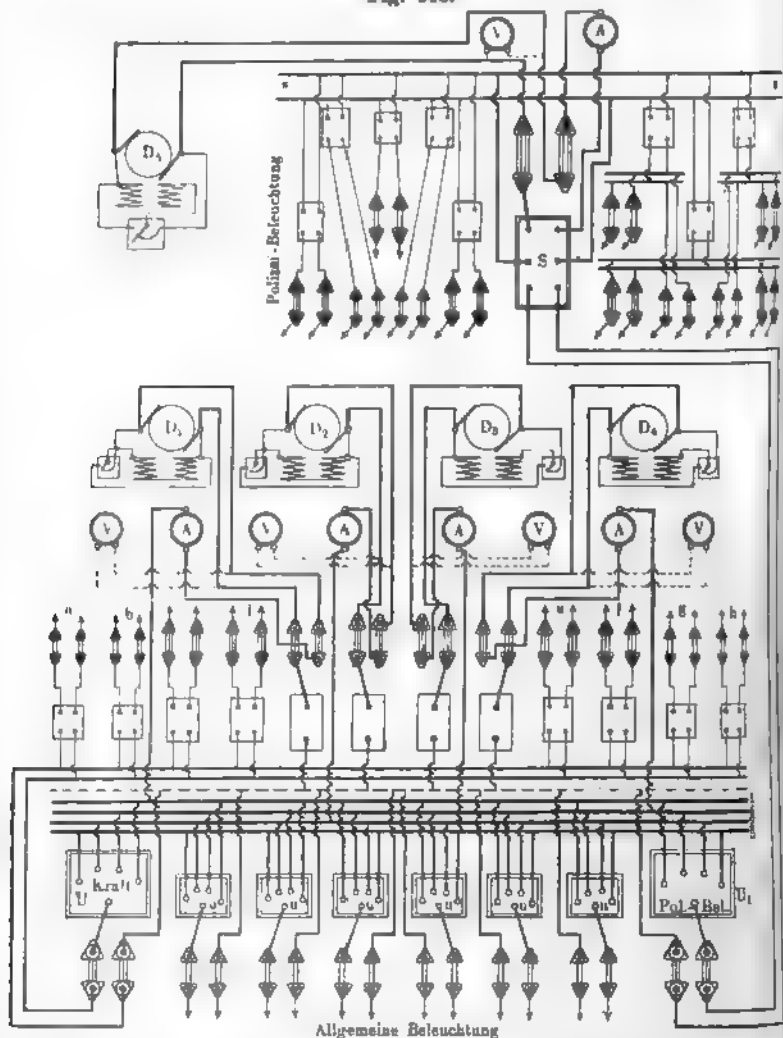
Die Stromkreise  $a$  bis  $h$  für den Betrieb der Elektromotoren sind ebenfalls an zwei Sammelschienen angeschlossen; diese Sammelschienen können je nach Wahl durch den Umschalter  $U$  an jede der vier Maschinen angeschlossen werden.

Zu den beiden Hauptteilen der Leitung für die allgemeine Beleuchtung und für den Motorenbetrieb kommt als dritter Teil die Polizeileitung, welche sämtliche Lampen enthält, die für den Dienst, sowie zur Sicherheit des Schiffes, der Passagiere und der Besatzung erforderlich sind, insbesondere die Lampen für die Maschinen- und Kesselräume, ferner die am Hafendienst und die zum Reinigen der Salons erforderlichen Lampen, sowie die Lampen für die Kammern der Besatzung. Die Stromkreise der Polizeileitung sind an die Sammelschienen  $s-s$  des Schaltbrettes angeschlossen, welches sich mit der fünften Dynamomaschine in demselben Maschinenräume befindet. Durch den Umschalter  $S$  kann entweder die Dynamo 5 Strom für die Polizeileitung liefern, oder der Strom kann auch mittels des Umschalters  $U$ , von jeder der unteren vier Dynamos entnommen werden. Zu diesem Zwecke ist eine Leitung zwischen dem Umschalter  $S$  und dem Umschalter  $U$  vorhanden. Bei dieser Anordnung des Schalt-

brettes kann also jede Dynamo ohne weiteres für die Beleuchtung durch eine andere ersetzt werden.

Als Meßinstrumente (Ampèremeter *A* und Voltmeter *V*) sind Präzisionsmeßinstrumente benutzt, deren Wirkungsweise in § 25 beschrieben ist. Diese Instrumente (Fig. 74 u. ff.) haben sehr gute Dämpfung und zeigen, unabhängig von den Schwankungen des Schiffes, in jeder Lage richtig an.

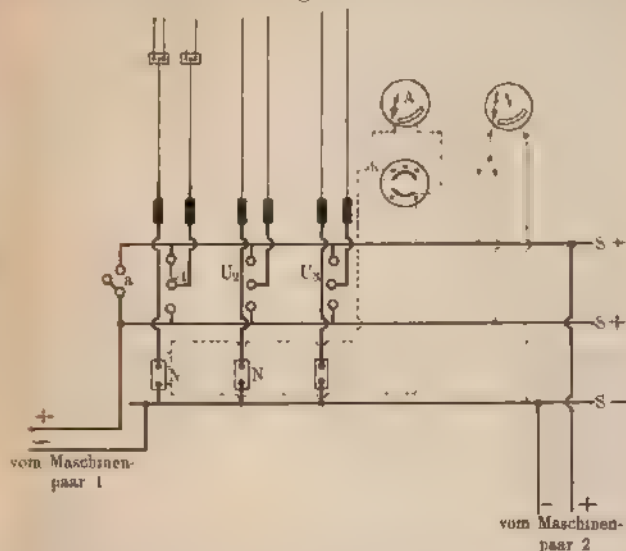
Fig. 440.



2. Auf S. M. S. „Hagen“. Um die Energielieferung für die Motoren mit stark schwankendem Stromverbrauch von den Leitungen für die elektrischen Lampen zu trennen, ist auf S. M. S. „Hagen“ die Stromverteilung in folgender Weise durchgeführt. Zwei Paare von Nebenschlussdynamos

und aufgestellt, deren negative Polklemmen sämtlich an die negative Sammelschiene (Fig. 441) des Schaltbrettes angeschlossen sind. Außerdem sind zwei positive Sammelschienen, die übrigens zur allgemeinen Parallelschaltung auch durch einen Schalter  $a$  (Fig. 441) miteinander verbunden werden können, vorhanden. An die eine sind die positiven Klemmen des einen Paares parallel geschalteter Dynamos, an die andere die des zweiten Paares gelegt.

Fig. 441.



Die Schaltung der Maschinen und deren Hilfsapparate ist im übrigen nach Fig. 430 ausgeführt. Fig. 441 gibt ein Schema der Stromverteilung<sup>1)</sup>, wobei der Übersicht wegen nur drei Stromkreise gezeichnet sind.

Im ganzen zweigen vom Schaltbrett ab: vier Leitungen für die vier Scheinwerfer, eine Leitung für zwei Nebenschlussmotoren, die zum Betriebe der Munitionsaufzüge dienen, und zwölf weitere Stromkreise, welche für Beleuchtung, Anschluss von Ventilatoren u. s. w. eingerichtet sind. Durch den Umschalter  $U$  können die Stromkreise an die obere oder untere  $+$ -Schiene angeschlossen werden. Sämtliche Rückleitungen aus dem Schiffe liegen an der  $-$ -Sammelschiene. In der Rückleitung sind die Nebenschlüsse für die Ampèremeter eingeschaltet, das mittels eines Umschalters nacheinander mit den einzelnen Nebenschlüssen in Verbindung gebracht werden kann.

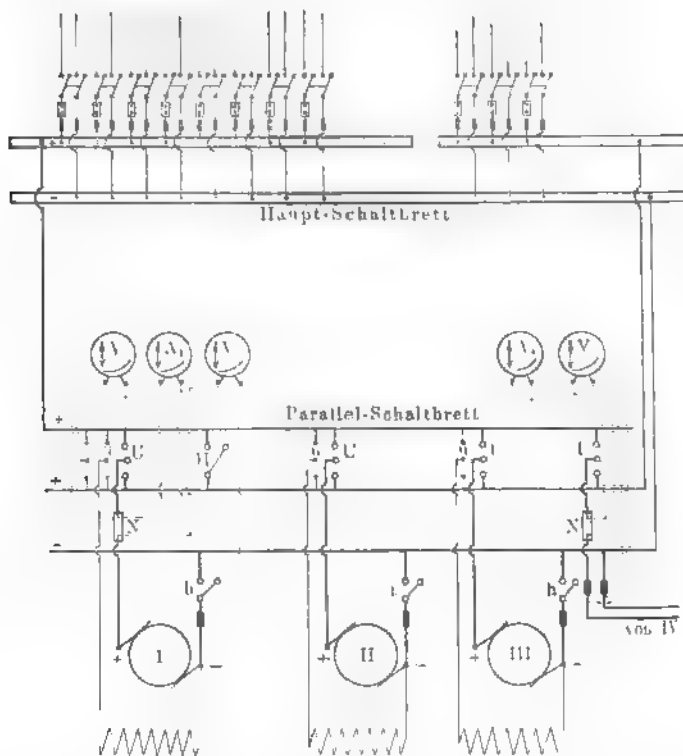
3. Auf S. M. S. „Prinz Heinrich“. Im hinteren Maschinenraume sind drei Ampèredynamos aufgestellt, von denen zwei für 48 K. W., die dritte für 75 K. W. und 680 Amp. gebaut sind. Außerdem ist noch eine Reservestation vorhanden mit einer Dynamo von 75 K. W. Nutzleistung, die ebenfalls bis 30 Amp. liefern kann.

Das Hauptschaltbrett (Fig. 442) enthält eine  $-$ -Sammelschiene, an welche sämtliche Stromkreise angeschlossen sind. Die  $+$ -Sammelschiene ist in zwei Teile zerlegt; an dem einen Teil wird der Strom an die mit schwach-

<sup>1)</sup> Ein vollständiges Schema der Stromverteilung ist von Grunert in der Elektrotechn. Zeitschr., Bd. 21, S. 973, 1900 gegeben.

kender Belastung arbeitenden Motoren für Aufzüge, Schwenkwerke und Kohlenwinden und an die Scheinwerfer, an dem anderen für die Ventilator und Lampen abgegeben.

Fig. 442.

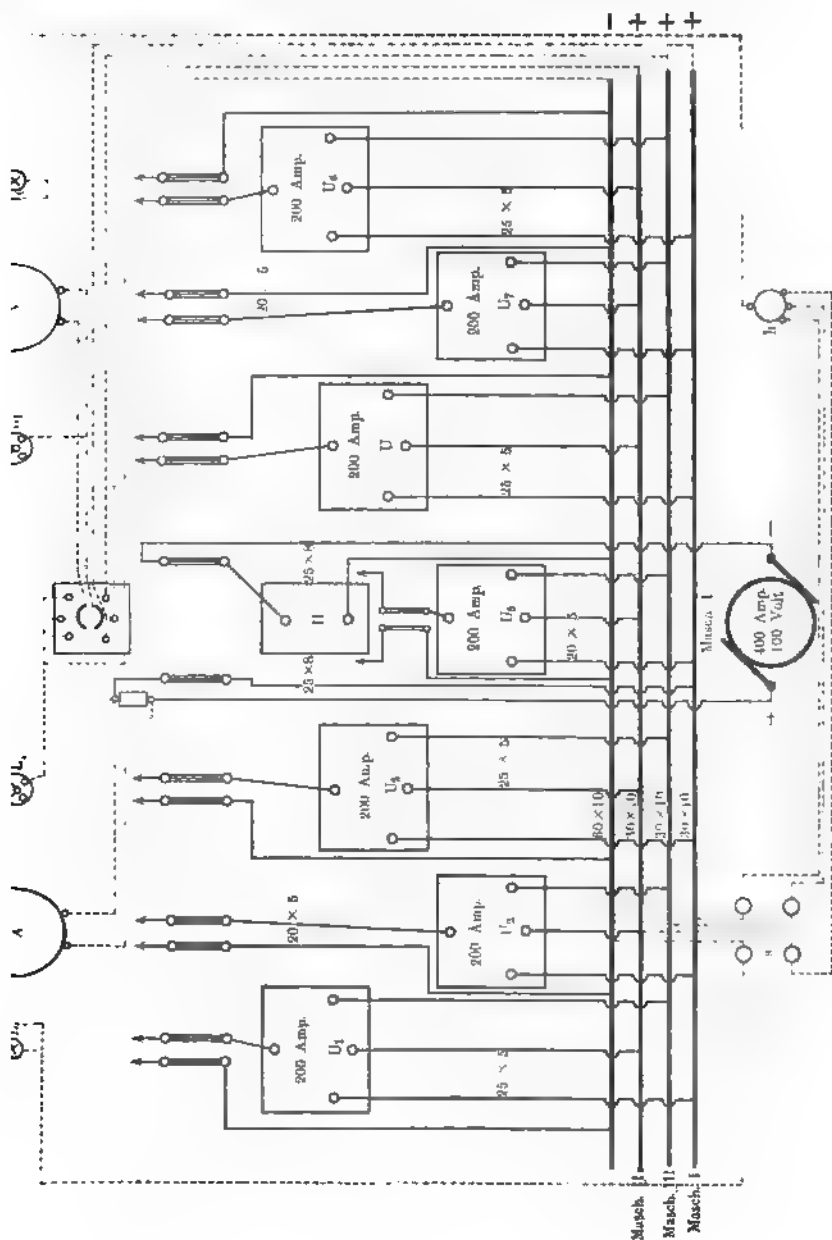


Das Parallelschaltbrett ist zum Umschalten der Dynamos in der selben Weise eingerichtet, wie auf S. M. S. „Hagen“. In Fig. 442 ist für die Dynamo I der Anschluß des Strommessers  $A_1$  und des Spannungsmessers  $V_1$  gezeichnet. Zu ersterem gehört der Nebenschluß  $N$ . Die Nebenschlußregulatoren sind bei allen Maschinen in der Skizze fortgelassen. Die Umschalter  $U$  können die positiven Polklemmen der Dynamos entweder mit der oberen oder mit der unteren  $+$ -Schiene des Parallelschaltbrettes verbinden. Beim Anlassen werden die Dynamos mittels des Umschalters aus dem Parallelschaltbrett aus der Erregung. Das Voltmeter  $V$  dient zur Messung der Spannung zwischen den Schienen des Schaltbrettes.

Die in der Reservestation aufgestellte Dynamo kann ebenfalls an das Parallelschaltbrett angeschlossen werden. Durch den Schalter  $H$  kann der allgemeine Parallelbetrieb hergestellt werden.

Die vom Hauptschaltbrett abzweigenden Leitungen enthalten doppel polige Sicherungen und in der  $+$ -Leitung einen Nebenschluß für die Messung des Stromverbrauches. Die Nebenschlüsse in zusammengehörigen Leitungen sind zu einem Umschalter geführt, der ferner mit einem Präzisionsstrommesser (vergl. § 25) verbunden ist.

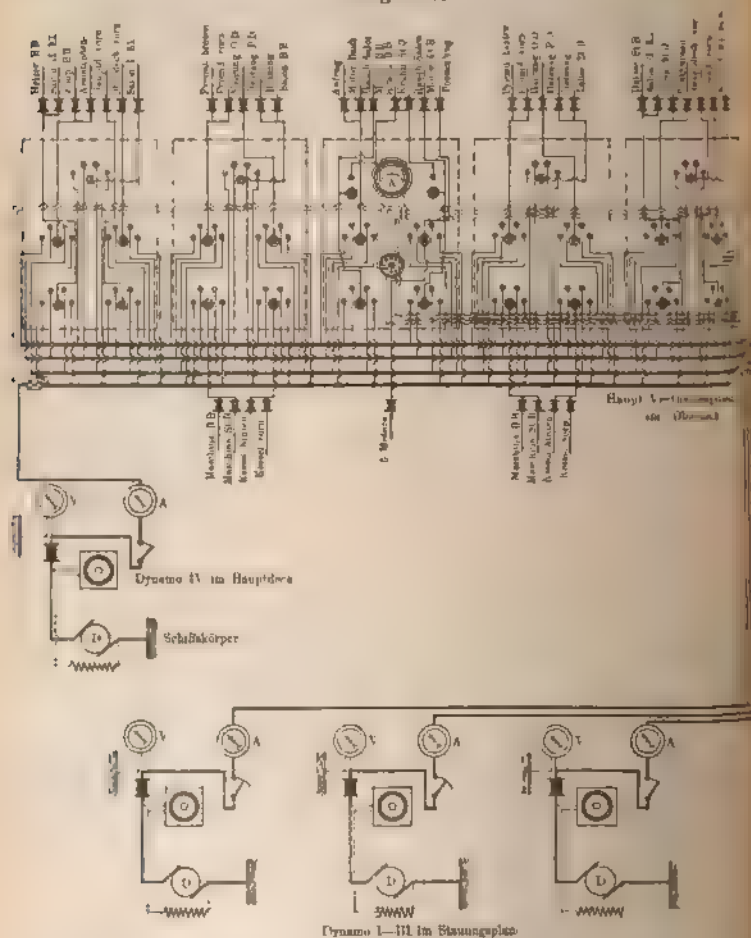
4. Reichspostdampfer „Prinzess Irene“ des Norddeutschen Lloyd. Das Schaltungsschema ist in Fig. 443 dargestellt. Eine der vier Maschinen, von denen jede bei 100 Volt Klemmenspannung bis zu 400 Amp. liefern kann, ist im Zwischendeck, die beiden übrigen im Stauungs-





plan aufgestellt. Die sieben Stromkreise können durch einpolige Umschalter auf die drei Dynamos verteilt werden.  $U_1 - U_7$  sind die einpoligen Umschalter für drei Stromkreise. Das zugehörige Schaltbrett ist in Fig. 444 dargestellt.  $H$  ist ein einpoliger Schalthebel bis 400 Amp.  $L_1, L_2$  sind zwei Schiffsschlusssprünge, die je eine Glühlampe zur Prüfung der Isolation des Netzes enthalten (siehe § 143).  $L$  sind Glühlampen zur Beleuchtung des Schaltbrettes, deren Leitung die Sicherung  $s$  und den Ausschalter (bzw. Umschalter)  $h$  enthält. In der Anlage erfolgt die Rückleitung nicht durch den Schiffskörper, sondern sie ist als isolierter Leiter ausgeführt. Diese Anlage ist von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, ausgeführt.

Fig. 444.



5. Schnelldampfer „Kronprinz Wilhelm“ des Norddeutschen Lloyd, ausgeführt (von der Union-Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, in gemeinsames Bureau A. Nissen u. Co., Hamburg (Fig. 444). Nach dem Vergehenden ergibt sich leicht die Stromverteilung. Auch hier können 2

schalter die verschiedenen Stromkreise auf die vier Dynamos verteilt. In der Anlage ist eine Rückleitung durch den Schließkörper vorhanden. In den Zuleitungen von den Dynamos nach dem Schaltbrette Nebenschlüsse eingeschaltet, an welche durch einen zweipoligen Leiter für vier Stromkreise das Ampèremeter gelegt werden kann. In

Fig. 445.

Fig. 446

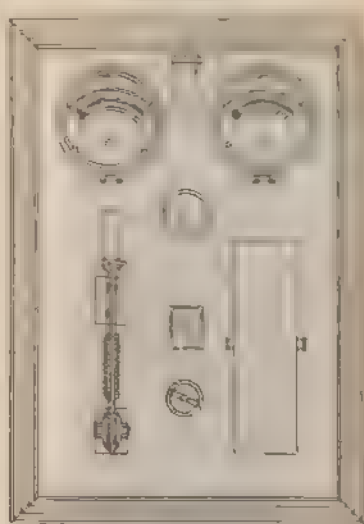
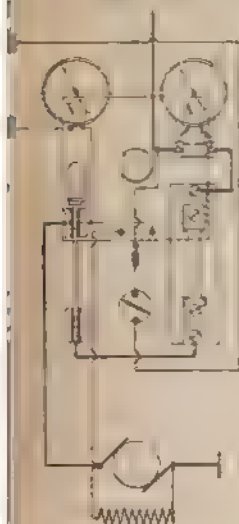


Fig. 445 ist das Schaltungs-schema der Schalttafel für die Dynamo IV und Fig. 446 die Ansicht derselben dargestellt.

**§ 136. Das Schaltbrett.** Die Schalttafel im Maschinenraume eine Zusammenstellung derjenigen Apparate enthalten, die erforderlich sind, um den Betrieb und das Verhalten der Dynamos zu bewachen, und um den Stromverbrauch zu regulieren. Wir behandeln hier nur solche Schalttafeln, welche für den reinen Maschinenbetrieb ohne Akkumulatoren Verwendung finden.

Auf der Schalttafel sind vorhanden: 1. Für jede der Maschinen Nebenschlußregulator, der in der Form Fig. 447 von Siemens & Halske, Berlin, für größere Dynamos geliefert wird; 2. für jede Dynamo ein zweipoliger Hebelausschalter nebst doppelpoliger Sicherung; für jede Dynamo ein Strommesser und ein Voltmeter. Statt mehr Voltmeter kann auch ein Voltmeter mit Voltmeterumschalter (S. 399) angebracht sein; 4. die Schalthebel bezw. Umschalter für die den Sammelschienen abzweigenden Hauptleitungen und die Sicherungen für letztere; 5. ein Erdschluß- (Schiffschluß-) prüfer.

Sind mehrere Dynamos vorhanden, die in Parallelschaltung betrieben werden, so sind zwei Sammelschienen auf dem Schaltbrette angebracht, denen die Hauptleitungen abzweigen.

Sind dagegen Umschalter (siehe Fig. 400) vorhanden, wodurch Dynamo ihren eigenen Stromkreis erhält, so ergibt sich die Richtung leicht aus den in Fig. 440 u. a. gegebenen Skizzen der Dynan-  
anlage. Fig. 448 zeigt die Ausführung des Schaltbrettes

Fig. 447.



dem Reichspostdampfer „Prinz Irene“ nach der Ausführung Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin.

Die Schalttafeln werden besten aus leitungsfreiem Marmor oder Schiefer hergestellt. Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektriker ist es jedoch auch zulässig, die Schalttafeln aus Holz herzustellen, wenn die Betriebsspannungen bis zu 100 Volt anzufertigen, wobei alle stromführenden Teile sorgfältig isolierenden und feuersicheren Unterlagen zu montieren sind.

Wegen der hohen Temperatur in den Maschinenräumen an Bord, besonders auch wegen der beträchtlichen Feuchtigkeit, ist das Holz für Schaltbretter an Bord sehr wenig geeignet.

Wegen der Sprödigkeit des Marmors, welche bei Erschütterungen des Schiffskörpers leicht die Gefahr eines Bruches der aus ihm hergestellten größeren Platten nahe legt, zieht man für Schaltbretter an Bord Platten aus adersfreiem Schiefer von etwa 25 mm Stärke vor, die mit Firnis getränkt werden, damit sie nicht hygroskopisch sind. Die Schieferplatten werden von kräftigen Winkelleisen umrahmt und durch Zwischenlagen Filz in der Umrahmung gehalten.

Für Kriegsschiffe ist wegen der Brüche der Schieferplatten auch Eisen als Material für Schaltbretter in Vorschlag gebracht. Bei größeren Schaltbrettern aus Eisenplatten macht besonders die Befestigung und Durchführung der Leitungen Schwierigkeiten, wenn die Isolation ihren hohen Wert behalten soll. Kleine Schaltbretter für einzelne Maschinen sind bereits aus diesem Material hergestellt<sup>1)</sup>.

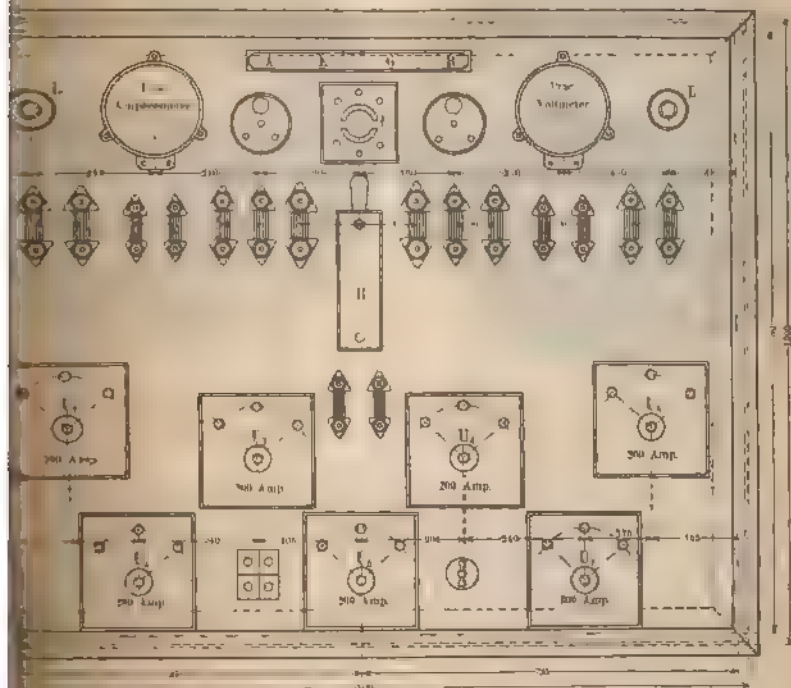
Alle Durchführungen der Leitungen durch die Schaltwand sind durch Tüllen aus Porzellan, Hartgummi oder ähnlichem Material sorgfältig zu isolieren.

Die in den Schaltungsakizzen (Fig. 440 u. ff.) angegebenen Apparate, welche sowohl zur Überwachung, als auch zur Regulierung der

<sup>1)</sup> Siehe Grauert, Die elektrischen Anlagen neuerer Kriegsschiffe. Elektr. Zeitschr. 1900, S. 995.

zu dienen, sind übersichtlich auf dem Schaltbrette anzuordnen. Verbindungen der Apparate untereinander und mit den Sammelschienen werden auf der Rückseite des Schaltbrettes durch Kabel oder die Voltmeter durch Leitungen mit dicker Guttaperchahülle hergestellt. Neuerdings bringt man zur besseren Übersicht die Ver-  
bindungen für Starkströme auf die Vorderseite des Schaltbrettes als

Fig. 448.



als Kupferschienen. Die Übersicht wird noch dadurch erhöht, daß die  $+$ -Leitungen durch einen roten, die  $-$ -Leitungen durch einen Lackanstrich kennzeichnet. Der Lackanstrich schützt zugleich gegen die Feuchtigkeit. Die Leitungen für die Präzisionsstrom- und -spannungsmesser werden dabei durch Drähte mit bester dicker Gumminsolation ausgeführt. Die einzelnen von den Sammelschienen abzweigenden Stromkreise (Hauptleitungen) sind mit Büchern versehen, welche die angeschlossenen Verteilungsstationen benennen.

Als Meßinstrumente sind die auf S. 51 beschriebenen aperiodischen Strom- und Spannungsmesser zu verwenden oder die Weston-Attafelnstrumente (Fig. 449).

Jeder Stromkreis erhält eine doppelpolige Sicherung. Werden

die Dynamos parallel geschaltet, so erhält auch jeder Stromkreis doppelpoligen Ausschalter.

Werden die Dynamos unter Anwendung von Umschaltern einzeln betrieben, so erhält, nach den Vorschriften des Norddeutschen Lloyd,

Fig. 449.



Stromkreis in die eine Hauptleitung einen Umschalter (einpoleigen Masterwähler) und in die andere Hauptleitung einen Ausschalter, damit die Umschaltung funkenlos erfolgen kann.

Die Schalttafel soll in solchem Abstände von der Wand angebracht werden, daß auch während des Betriebes eine Untersuchung der Verbindungen der Apparate untereinander und mit den abzweigenden Stromkreisen vorgenommen werden kann. Die Schraubenverbindungen zwischen den Apparaten und Leitungen sind von Zeit zu Zeit zu prüfen. Fig. 450 zeigt die Aufstellung des Schaltbrettes auf dem Schnelldampfer „Kronprinz Wilhelm“.

Über den Anschluß der Kabel durch Kabelschuhe siehe S.

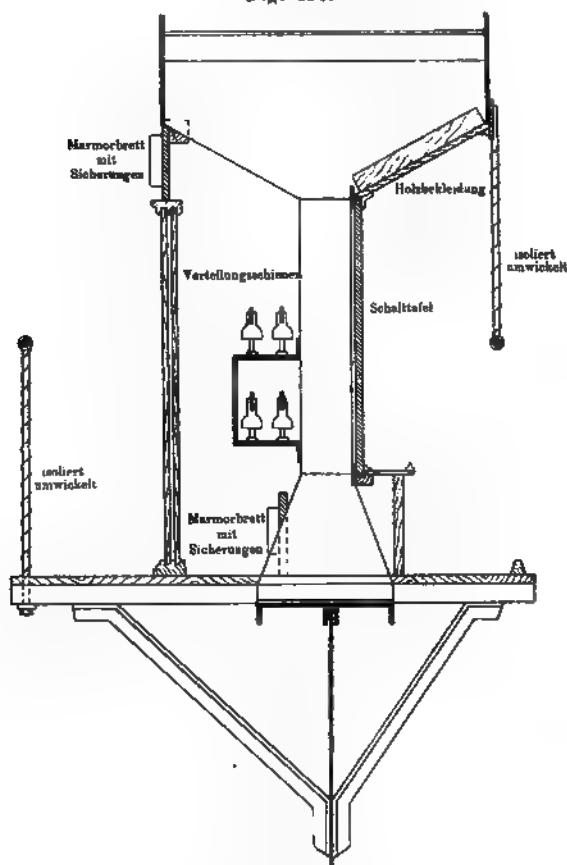
### § 137. Anlage des Leitungsnetzes im allgemeinen.

Verteilung der elektrischen Energie vom Hauptschaltbrette aus erfolgt zunächst durch die Hauptleitungen, von denen jede am Hauptschaltbrette (siehe Fig. 448) ausgeschaltet bzw. umgeschaltet werden kann. Die Hauptleitungen führen als eisenbandarmierte Bleikabel nach den verschiedenen im Schiffe verteilten Verteilungsstationen; erstere führt jede Hauptleitung nur zu einer Verteilungsstation oder mehreren. (Fig. 456.)

In Fig. 451 ist die Lage der Hauptleitungen für die elektrische Beleuchtungsanlage auf dem Schnelldampfer „Kronprinz Wilhelm“ dargestellt. Die Zahlen geben die Querschnitte der Leitungen in Quadratmillimeter an.

Zur Sicherheit des Betriebes können einzelne Hauptleitungen als Ableitungen verlegt werden. Wird der Ringleiter für die Kessel- und Maschinenräume (Fig. 452) an irgend einer Stelle schadhaft, so behalten sich alle Verbrauchsstellen ihre Verbindung mit der Stromquelle bzw. mit dem Hauptschaltbrett. Auf dem Schnelldampfer „Deutschland“ der

Fig. 450.



amburg-Amerika-Linie sind solche Ringleitungen, wie auch auf allen deren Dampfern, für die Beleuchtung der Kessel- und Maschinenräume gewählt (Fig. 453).

Von den Verteilungsstationen gehen dann, des beschränkten Raumes wegen, häufig nur acht bis zehn Zweigleitungen nach verschiedenen Räumen, Gängen u. s. w.; diese Verteilungsleitungen können einzeln an der Verteilungsstation ein- und ausgeschaltet werden.

Nach den Bestimmungen des Norddeutschen Lloyd werden an jede Zweigleitung nicht mehr als acht Glühlampen angeschlossen. Besondere Zweigleitungen erhalten von den Verteilungsstationen aus:

1. Die Lampen in den Gängen und Toiletten,
2. die Außenlampen auf dem Promenadendeck,
3. die Sonnenbrenner,
4. die Positionslaternen,

Fig. 451.

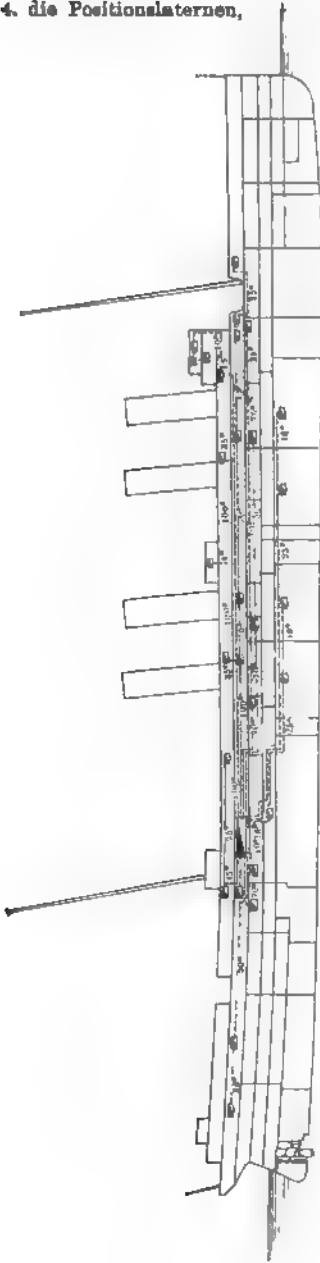
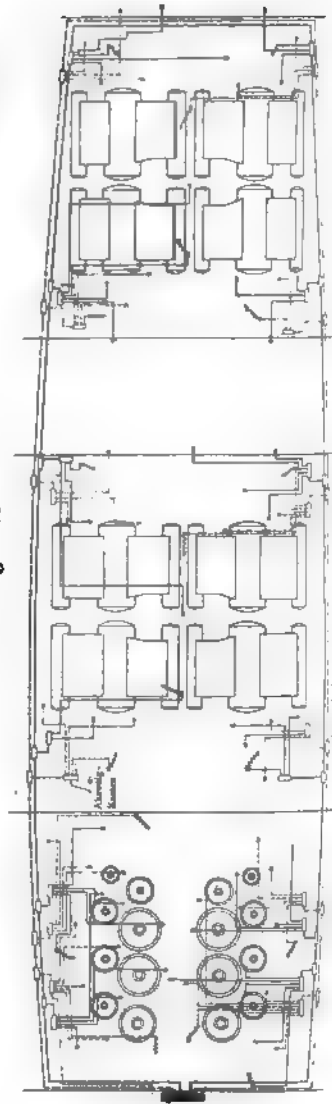
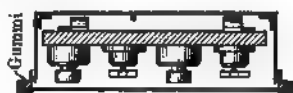
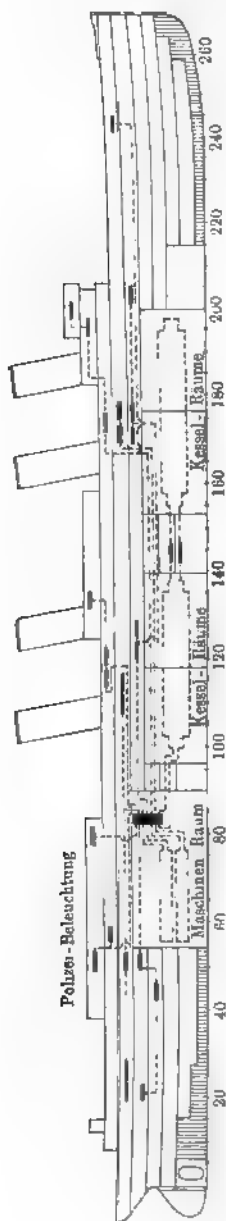


Fig. 452.





die Lampen für die Wohnräume der Besatzung,  
die Lampen der an Deck befindlichen Kompatte und Maschinen-  
telegraphen,  
die Lampen solcher Räume, welche vom Tageslicht ungenügend  
oder gar nicht erhellt werden.



wd Kabel-  
einführung

Fig. 455.

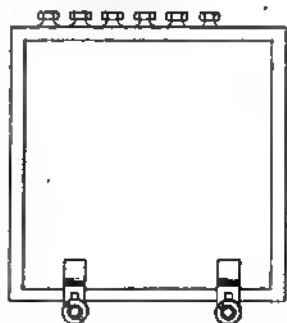
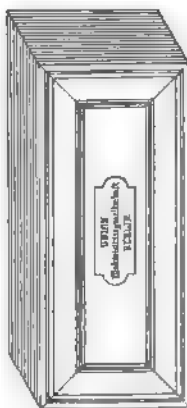


Fig. 454.



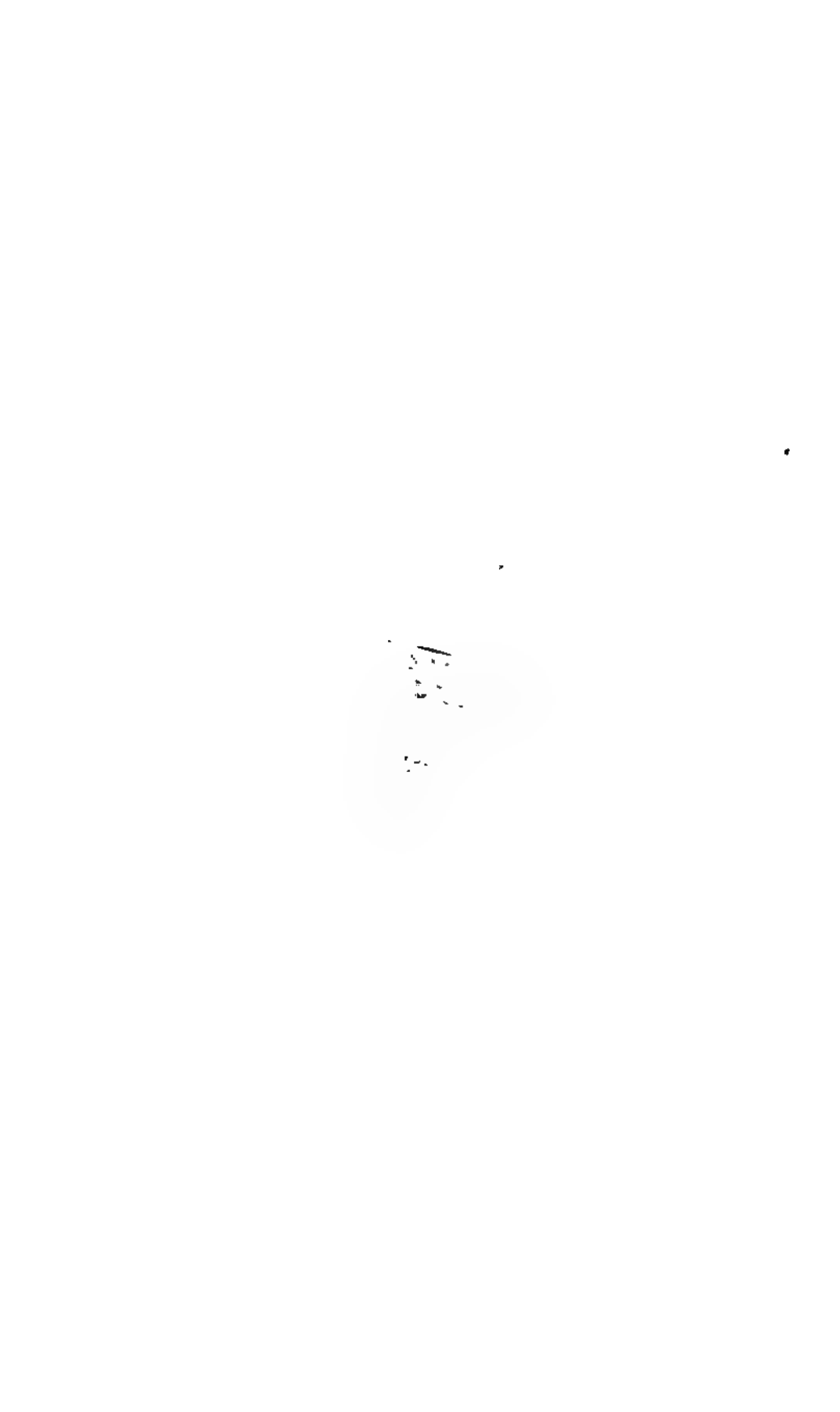
In Fig. 455 ist ein wasserdichter Verteilungskasten dargestellt, der an dem Schneidampfer „Kronprinz Wilhelm“ des Norddeutschen Lloyd verwendet ist. In Fig. 454 ist ein Verteilungskasten für Innenräume (Gänge u. s. w.) in Ansicht und Schnitt dargestellt. Die Schalter und Sicherungen sind hier bei auf isolierten Marmorplatten montiert, während in den wasserdichten Stationskästen anstatt des Marmors Schiefer verwendet ist.

Es empfiehlt sich ferner, für jede wasserdichte Abteilung eines Schiffes eine besondere Hauptleitung anzulegen, damit im Falle einer Überflutung dieser Räume Störungen der gesamten Anlage vermieden werden.

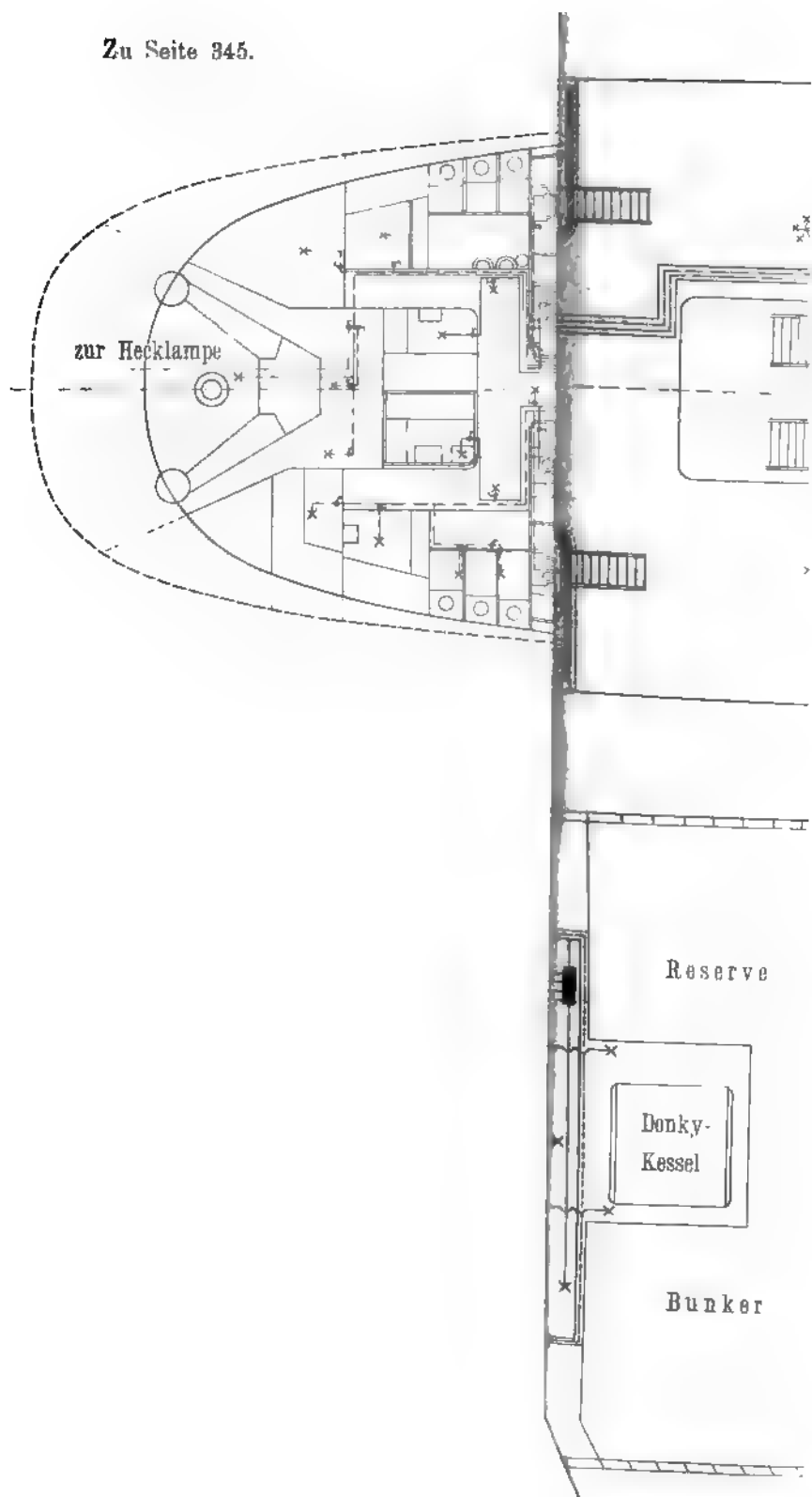
In den Maschinen- und Kesselräumen wird meistens jede einzelne Lampe von der Verteilungsstation abgezweigt (siehe Fig. 452).

Neuerdings werden auch auf den Dampfern der Handelsmarine alle Gleichstromnetze doppelpölig verlegt, während seltener noch einpölig verlegte Leitungsnetze ausgeführt werden, bei denen der Schiffskörper als Rückleitung des Stromes zum Schaltbrett dient. Das einpölig verlegte Leitungsnetz ist billiger, jedoch, die gleiche Güte an Isoliermaterialien vorausgesetzt, leichter Störungen infolge von Isolationsfehlern ausgesetzt als das zweipölige Netz. Auch ist der Einfluss der elektrischen Ströme eines doppelpöiligen Netzes auf den Kompaß geringer als der Einfluss beim einpöiligen Netze. Bei der Rückleitung durch den Schiffskörper ist das Berühren der Leitungen unangelegen für das Personal, auch werden vielfach Aufressungen des Schiffskörpers, der Rohrleitungen u. s. w. auf die elektrolytischen Wirkungen des Stromes zurückgeführt. Das Kupfergewicht der Leitung ist bei einpölig verlegten Leitungen freilich erheblich geringer als bei zweipölig verlegten. Für die Berechnung des Spannungsverlustes an einpöiligen Leitungen ist dabei nur (vergl. das Beispiel auf S. 348) die Hinleitung zu berücksichtigen. Vielfach ist auf den Dampfern der Handelsmarine für die Beleuchtung ein einpölig verlegtes Leitungsnetz vorhanden, während nach den Motoren für die Kräne, Aufzüge u. s. w. zweipölige Leitungen verlegt sind. Bei wenig umfangreichen und einfachen Anlagen wendet man, besonders auch mit Rücksicht auf die Verminderung des Leitungsmaterialies in einzelnen Fällen, wie z. B. auf Torpedobooten, einpölig verlegte Leitungen an. Immerhin ist die Verlegung des einpöiligen Leitungsnetzes einfacher als die des zweipöiligen. Wird die Verlegung sorgfältig bei Anwendung der besten Isoliermaterialien ausgeführt, so kann auch beim einpöiligen Netze das Auftreten von Störungen durch Fehler im Netze sehr beschränkt vermieden werden, besonders wenn die bei der Rückleitung durch den Schiffskörper fortfallenden Kosten einer isolierten Rückleitung mit für die bessere Verlegung des einpöiligen Netzes, sowie des Materials derselben in Anschlag gebracht werden.

Die Gefahr einer Störung im einpölig verlegten Netze ist immer nicht größer als beim Dreileiternetze mit blank in Erde verlegten Mittelleiter (Elektrische Centrale in Kiel).



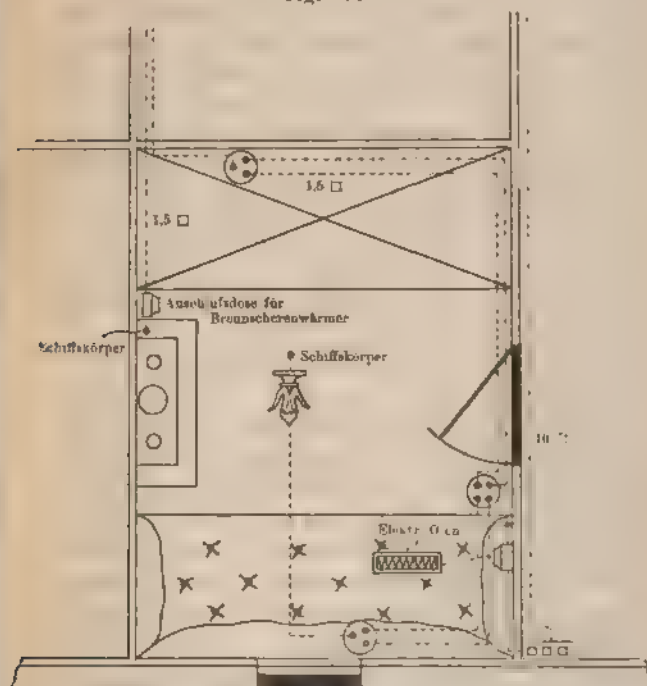
Zu Seite 345.



In der Nähe des Kompasses sind alle Leitungen stets doppelpolig verlegen und überhaupt in solcher Weise, daß eine Störung derselben möglichst vermieden wird. Für die Stromleitung nach den Feuerwerfern und Motoren dienen daher meistens konzentrische Kabel.

§ 138. Ausgeführte elektrische Leitungen an Bord. In Fig. 452 sind zwei Ringleitungen für die Kessel- und Maschinenräume dargestellt, die beide an dasselbe Schaltbrett angeschlossen sind. Jeder der beiden Ringleitungen enthält Abzweigkasten, und zwar ist die Verteilung derselben bezw. der Lampen möglichst so vorgenommen, daß auch bei Zerstörung einer der Ringleitungen immer noch eine ausreichende Beleuchtung vorhanden ist. Eine ähnliche Verteilung des elektrischen Stromes in den Maschinen- und Kesselräumen ist in Fig. 457 dargestellt, wie sie auf den Dampfern „Adria“ und anderen Schiffen der Hamburg-Amerika-Linie zur Ausführung gebracht ist. In Fig. 456 ist die Installation im Oberdeck-Hinterschiff des Postdampfers „Prinz Heinrich“ des Norddeutschen Lloyd wieder-

Fig. 456



ben. Vom Maschinenraum führen nach den beiden Verteilungskästen im Hinterschiff je zwei Leitungen, von denen die eine für Tagesbetrieb (ausgezogene Linie), die andere für die Abendstunden

und nachts (strich-punktiert) eingeschaltet wird. Während des Tages erhalten sämtliche etwa eingeschalteten Lampen Strom von derselben Dynamo, so daß nur eine Dynamo in Betrieb gestellt wird. Zur Zeit des größten Bedarfes an elektrischer Energie sind die verschiedenen Stromkreise auf die vorhandenen Dynamos verteilt. Im Mittelschiff sind die Backbordleitungen als ausserogene Linien, die Steuerbordleitungen punktiert gezeichnet. Zur Beleuchtung des Decks sind ferner vier Sonnenbrenner mit je fünf Glühlampen installiert.

In Fig. 458 ist die elektrische Ausrüstung einer Kabine erster Klasse auf dem Schnelldampfer „Kronprinz Wilhelm“ des Norddeutschen Lloyd dargestellt. Die Leitungen für die Glühlampe, welche von drei Stellen aus unter Anwendung eines Kreuzschalters eingeschaltet werden kann, sowie die für den elektrischen Ofen und für die Brennscherewärmer sind voneinander getrennt.

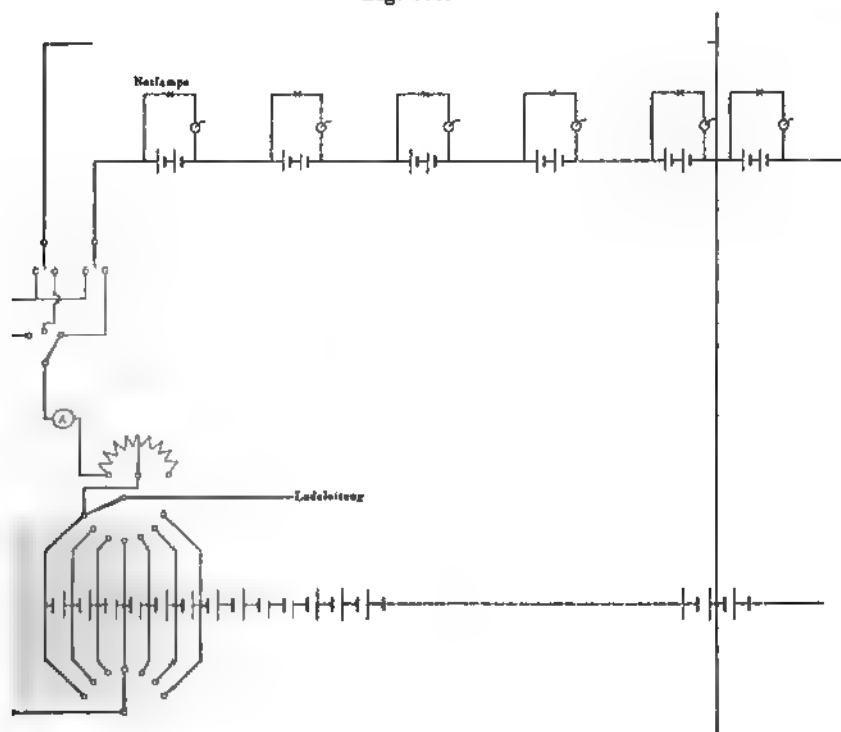
§ 139. Notbeleuchtung mit Akkumulatoren. Eine besonders wichtige und für den Betrieb bequeme Anwendung der transportablen Akkumulatoren bietet sich in den Notbeleuchtungsanlagen der Schiffe. Wir behandeln von den zahlreichen vorgeschlagenen Lösungen dieser Aufgabe diejenige, welche die Akkumulatorenwerke System Pollak, A.-G. in Frankfurt a. M., zum D. R.-P. angemeldet hat.

Das Wesen solcher Anlagen besteht darin, daß von der Hauptanlage unabhängige elektrische Lampen zur Beleuchtung der wichtigsten Durchgänge und Räume über und unter Deck angebracht werden. Die Unabhängigkeit dieser Notlampen von der Hauptanlage ist aber erst im Augenblick des Versagens der letzteren notwendig und wird am besten dadurch erzielt, daß man eine jede Notlampe mittels einer besonderen kleinen Sammlerbatterie direkt speist. Es wäre jedoch recht unbequem und infolgedessen auch praktisch undurchführbar, eine größere Anlage dieser Art im Betriebe zu erhalten, wenn man gezwungen wäre, die einzelnen Batterien alle Tage zum Aufladen nach der Ladestelle zu schaffen. Aus diesem Grunde ist das im Nachstehenden kurz beschriebene, zuerst für Theater und öffentliche Gebäude ausgebildete System von besonderer Bedeutung (Fig. 459).

Diese Anordnung besteht im wesentlichen darin, daß zu jeder Notlampe eine kleine Batterie von etwa vier Sammlerzellen parallel geschaltet wird, während zu gleicher Zeit diese Beleuchtungseinheiten durch eine Ladeleitung gruppenweise in Reihen geschaltet mit der Hauptanlage verbunden werden. Die Zellen der hintereinander geschalteten Batterien werden so gewählt, daß bei normalem Betriebe der Hauptanlage auf jede Zelle der Notbatterien eine Spannung von etwa 2,1 Volt entfällt. Infolgedessen können die Notlampen unter normalen Verhältnissen direkt von der Hauptanlage gespeist werden, während die zugehörigen kleinen Batterien nur zum Ausgleich benutzt werden, und jederzeit mit ihrer vollen Kapazität zur Verfügung

stehen. Im Momente des Versagens der Hauptanlage infolge einer Stromunterbrechung oder eines Kurzschlusses treten die kleinen Notbatterien selbsttätig in Wirksamkeit und speisen die Notlampen ohne Unterbrechung weiter. Bei diesem System kommt man also mit ver-

Fig. 459.



hältnismäßig kleinen Batterien für die Notlampen aus und braucht die Zellen zum Zwecke der Aufladung nicht hin und her zu transportieren, wobei aber die Unabhängigkeit der einzelnen Notlampen von der Hauptanlage vollständig gesichert erscheint.

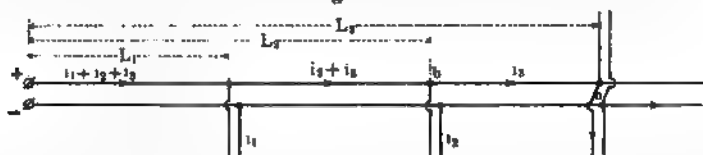
**§ 140. Stromverteilung und Spannungsverlust in einfachen Leitungen.** Ein einfacher Fall der Berechnung des Spannungsverlustes in einer Speiseleitung ist bereits auf S. 303 behandelt.

Wir greifen aus den zahlreichen Fällen einige weitere heraus, die für den elektrischen Betrieb an Bord besonderes Interesse haben. In Fig. 460 sei von den Polklemmen der Dynamo bzw. von den Sammelschienen des Hauptschaltbrettes eine Leitung mit dem Querschnitte  $Q$  bis nach  $a$  gezogen. An den Stellen  $b$  und  $c$  werden bzw. die Ströme  $i_2$  und  $i_1$  abgezweigt, während bei  $a$  der Strom  $i_0$  verbraucht wird.  $L_1$ ,  $L_2$  und  $L_3$  sind die Leitungs-



längen vom Hauptschaltbrett nach den Orten  $c$ ,  $b$  und  $a$ . In der Leitung vom Hauptschaltbrett bis  $c$  fließt der Strom  $i_1 + i_2 + i_3$ , während in der

Fig. 460.



Leitung von  $c$  bis  $b$  der Strom  $i_2 + i_3$  fließt (vergl. § 16). Der Spannungsverlust  $e$  vom Hauptschaltbrett bis  $a$  ist nach dem Ohmschen Gesetze also

$$e = \left[ \frac{(i_1 + i_2 + i_3) L_1}{Q \cdot \lambda} + \frac{(i_2 + i_3) (L_2 - L_1)}{Q \cdot \lambda} + \frac{i_3 (L_3 - L_2)}{Q \cdot \lambda} \right] 2.$$

Der Klammerausdruck gibt nur den Spannungsverlust in der Hin- oder in der Rückleitung an.

Nach einfachen Umformungen ergibt sich:

$$(83) \quad e = \frac{2}{\lambda Q} (i_1 L_1 + i_2 L_2 + i_3 L_3) \text{ Volt.}$$

$i_1 L_1$  nennt man das Strommoment von  $i_1$  in Bezug auf den Anfangspunkt der Leitung.

$$(84) \quad \text{Spannungsverlust} = \frac{2}{\lambda \cdot Q} \cdot \sum_1^n \mathcal{E} \cdot L,$$

wobei  $\mathcal{E} \cdot L$  die Summe aller Momente der von derselben Leitung abgezweigten Ströme darstellt.

Spezielles Beispiel.  $L_1 = 20$  m;  $L_2 = 34$  m und  $L_3 = 48$  m. Bei  $c$  seien 20 Glühl. (110 Volt, 25 N.K., 0,78 Amp.), bei  $b$  seien 24 Glühl. (16 N.K., 110 Volt, 0,5 Amp.) und bei  $a$  seien 40 Glühl. (16 N.K., 110 Volt, 0,5 Amp.) angeschlossen. Der Spannungsverlust vom Hauptschaltbrett bis  $a$  soll 2,5 Volt betragen, wenn alle Lampen eingeschaltet sind.

Wir haben

$$i_1 = 15,6 \text{ Amp.}; i_2 = 12 \text{ Amp.}; i_3 = 20 \text{ Amp.}$$

$$2,5 = \frac{2}{60 \cdot Q} (15,6 \cdot 20 + 12 \cdot 34 + 20 \cdot 48)$$

$Q = 22,4$  qmm. Dabei wäre also vom Hauptschaltbrett nach dem Punkte  $a$  eine Leitung mit dem Normalquerschnitte 25 qmm zu verlegen. Brennen niemals die oben genannten Lampen gleichzeitig, und ist auch auf eine Vergrößerung der Zahl der angeschlossenen Lampen nicht weiter Rücksicht zu nehmen, so kann der Querschnitt entsprechend geringer genommen werden.

§ 141. Ringleitung. Fig. 461 stellt eine Ringleitung dar, an welche sechs Energieaufnehmer angeschlossen sind. Bei  $a$  ist der Ringleiter mit dem Generator  $M$  verbunden. Der Übersicht wegen ist nur die Hinleitung gezeichnet, wir wollen jedoch voraussetzen, daß eine besondere Rückleitung von derselben Beschaffenheit wie die Hinleitung vorhanden ist.

$i_1, i_2, i_3, i_4, i_5$  und  $i_6$  seien die Ströme, welche bei voller Belastung dem Ringleiter entnommen werden. Wir berechnen zunächst die Stromverteilung im Ringleiter. Meistens wird ein Energieaufnehmer vorhanden sein, welcher

von beiden Seiten Strom erhält; wir nehmen an, daß im vorliegenden Falle dieses der Abnehmer 3 sei, und zwar erhalte derselbe von 4 her den Strom  $x$ , also von 2 her  $i_2 - x$ . Wir können dann bei 3 den Ringleiter zerschneiden und ihn als aus zwei Teilen (Fig. 462) zusammengesetzt betrachten

Fig. 461.

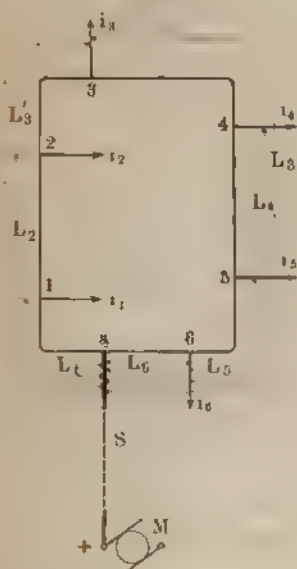
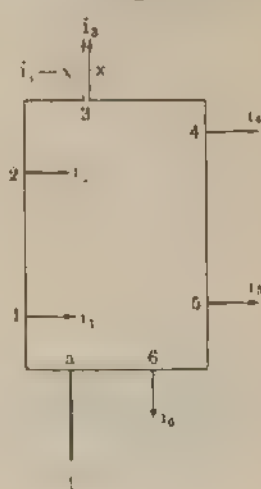


Fig. 462.



Von  $a$  bis 3 muß der Spannungsverlust  $e$  auf dem Wege  $a-6-5-4-3$  so groß sein, wie auf dem Wege  $a-1-2-3$ . Wir erhalten daher in Rücksicht auf die Gleichung (84) des vorigen Paragraphen

$$\frac{2}{\lambda Q} [i_1 L_1 + i_2 L_2 + (i_3 - x) L_3] = \frac{2}{\lambda Q} (x L_3 + i_4 L_4 + i_5 L_5 + i_6 L_6)$$

Daraus

$$\frac{i_1 L_1 + i_2 L_2 + i_3 L_3 - x L_3 - i_4 L_4 - i_5 L_5 - i_6 L_6}{L_3 + L_3} = x$$

Demnach ist die Stromverteilung im Ringleiter vom Querschnitte  $Q$  derselben unabhängig. Nach der Berechnung von  $x$  können dann die Ströme in den einzelnen Abschnitten des Ringleiters und ferner nach der Gleichung 84 der maximale Spannungsverlust bei voller Belastung ermittelt werden. Der Spannungsverlust ist am größten von dem Anschluß  $a$  des Ringleiters bis zu dem Energieabnehmer, welcher von beiden Seiten Strom erhält.

Spezielles Beispiel: Die Energieverteilung findet in dem in Fig. 463 dargestellten Ringleiter statt, bei  $A$  tritt der Strom in den Ringleiter ein. Bei I sind 40 Glühlampen (16 N.K., 0,5 Amp., 110 Volt), bei II 60 Glühlampen (110 Volt, 0,8 Amp., 25 N.K.), bei III sechs Bogenlampen von je 10 Amp. Stromstärke, bei IV acht Bogenlampen von je 6 Amp. eingeschaltet. Wir machen die Annahme, daß von II nach III der Strom  $x$  fließt.

$$\frac{2}{\lambda Q} (20 \cdot 20 + 48 \cdot 44 + x \cdot 60) = \frac{2}{\lambda Q} (24 \cdot 28 + (30 - x) \cdot 48)$$

$$x = -3,7 \text{ Amp.}$$

Demnach fließt nicht, wie wir angenommen haben, der Strom 3,7 Amp von II nach III, sondern wegen des negativen Vorzeichens von III nach II, und wir erhalten die in Fig. 464 dargestellte Stromverteilung.

Fig. 463.

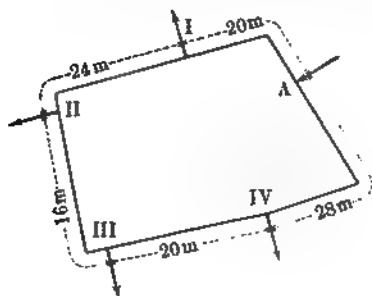
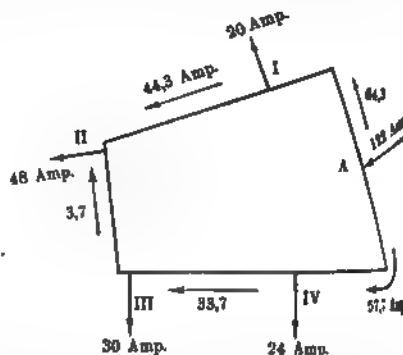


Fig. 464.



Der Spannungsverlust von A bis II bei voller Beanspruchung des Ringleiters soll nur 2 Volt auf dem einen wie auf dem anderen Wege betragen. Wir erhalten also für den Querschnitt  $Q$  des Ringleiters die Gleichung

$$2 = \frac{2}{\lambda Q} [20 \cdot 20 + 44,3 \cdot 44]$$

oder auch

$$2 = \frac{2}{\lambda Q} [24 \cdot 28 + 30 \cdot 48 + 3,7 \cdot 64].$$

Aus beiden Gleichungen ergibt sich, wenn  $\lambda = 60$  gesetzt wird,

$$Q = 89,15 \text{ qmm, also } \sim 40 \text{ qmm.}$$

## Sechzehntes Kapitel.

### Isolation des Leitungsnetzes.

§ 142. Arten der Fehler in den Leitungen und Entstehung derselben. Wir beschränken uns hier ausschließlich auf die Isolation der elektrischen Anlagen auf Schiffen und auf die Messung derselben. Wir unterscheiden:

1. Fehler durch Bruch oder durch Zerreißen eines Leiters. Die Fehlerstelle ergibt sich hierbei meistens durch die Ermittlung der Zweigleitungen, in denen die Stromabgabe aufgehört hat. Bei gehörigem mechanischen Schutz der Leitungen und sorgfältiger Verlegung derselben kommt dieser Fehler selten vor.

2. Fehler durch Kontakt zwischen dem Leiter und dem Schiffkörper. Solange nur eine Stelle an einem der Leiter des zweipoligen

Netzes schadhaft ist und im übrigen das Leitungsnetz, das Schaltbrett und die Dynamo sehr sorgfältig isoliert sind, schadet dieser Fehler an sich nicht viel. Wenn jedoch ein zweiter Kontakt im Netze auftritt an einer Stelle, wo eine merkliche Spannungsdifferenz gegen die erste vorhanden ist, so wird sofort ein Stromschluß durch den Schiffskörper erfolgen. Je nach dem Betrage des Übergangswiderstandes des Stromes aus den Leitungen in den Schiffskörper wird dieser Strom stärker oder schwächer sein. Bei direkter Berührung der beiden Leitungen mit dem Schiffskörper entsteht ein Kurzschluß. Die meisten Fehler bilden sich jedoch langsam aus. Kein Isoliermaterial ist so vollkommen, als daß bei den wechselnden Temperaturverhältnissen und bei der in vielen Schifferäumen großen Feuchtigkeit sich nicht allmählich schadhafte Stellen im Leitungsnetze ausbilden; daher ist es erforderlich, daß das Leitungsnetz fortgesetzt bezüglich seiner Isolation kontrolliert wird.

Der direkte Kurzschluß bei einpoligem und zweipoligem Leitungsnetze ist oft weniger gefährlich, weil hierbei in einer richtig ausgeführten Anlage die Abschmelzsicherungen durchbrennen. Bei mangelhafter Isolation und hierdurch bedingtem Stromübergang kann jedoch, bei in Holzleisten verlegten Leitungen, so viel Wärme erzeugt werden, daß eine Feuersgefahr nahe liegt. Dabei braucht immerhin noch nicht der Strom solche Stärke anzunehmen, daß die Sicherungen abschmelzen; der durch mangelhafte Isolation angerichtete Schaden ist daher in manchen Fällen viel schlimmer als der durch direkten Kurzschluß entstandene.

§ 143. Anzeiger für Stromschluß durch den Schiffskörper (Schiffs- oder Erdschluß). Die Sammelschienen SS des Schalt-

Fig. 465.

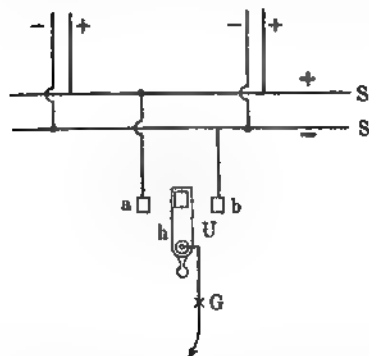
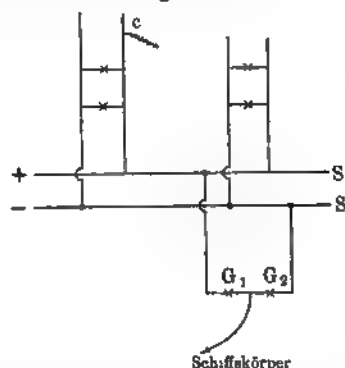


Fig. 466.



brettes (Fig. 465) sind bezw. mit den Kontakten *a* und *b* des Umschalters *U* verbunden. Vom Hebel desselben führt eine Leitung nach dem Schiffskörper, in welcher eine Glühlampe *G* eingeschaltet

ist. Wird der Hebel  $h$  auf  $a$  gedreht und ist in der ---Leitung ein Fehler, so geht der Strom von  $S_+$  über  $h$  durch die Glühlampe und den Schiffskörper zur Fehlerstelle der ---Leitung. Ist der Fehler nur klein, der Übergangswiderstand von der Fehlerstelle zum Schiffskörper also noch sehr groß, so wird die Lampe vielleicht gar nicht leuchten. Erst wenn der Fehler eine gewisse Höhe erreicht hat, ist er mit der in Fig. 465 dargestellten Vorrichtung bemerkbar. Immerhin läßt sich in manchen Fällen aus dem Grade des Leuchtens auf die Größe des Fehlers schließen. Statt der Glühlampe wird besser ein Voltmeter eingeschaltet, das als Strommesser für den schwachen, durch die Fehlerstelle bzw. Fehlerstellen fließenden Strom benutzt wird. Hierfür eignen sich besonders die nach dem Weston-Prinzip gebauten Strommesser mit hohem Widerstande. Das Weston-Instrument gibt dann direkt durch die Größe der Zeigerablenkung ein Maß für den vorhandenen Fehler. Die Prüfung der +-Leitung erfolgt in derselben Weise durch Drehen des Hebels  $h$  auf den Kontakt  $b$ .

Wenn ein eintretender Schiffsschlufs sich selbsttätig anzeigen soll, so wird die in Fig. 466 dargestellte Schaltung verwendet. Zwischen den Schienen des Schaltbrettes sind zwei Lampen in Reihe geschaltet; von der Verbindung derselben führt eine Leitung an den Schiffskörper. Da beide Lampen für die Betriebsspannung konstruiert sind, so glühen sie dunkel bei normalem Zustande des Netzes. Tritt in der +-Leitung bei  $c$  ein Fehler ein, so leuchtet  $G_2$  heller als  $G_1$ . Nach dieser Methode sind nur Differenzen in der Isolation beider Hauptleitungen bzw. deren Abzweigungen gegen den Schiffskörper zu erkennen.

§ 144. Größe des Isolationswiderstandes und Messung desselben. Zur Feststellung des Isolationswiderstandes des Leitungsnetzes empfiehlt es sich, besonders vor dem Antritt längerer Reisen, eine sorgfältige Messung anzustellen.

Über den Betrag des Isolationswiderstandes gilt folgendes: Der Isolationswiderstand des ganzen Leitungsnetzes gegen Schiffskörper soll mindestens  $\frac{1000000}{n}$  Ohm betragen, wobei  $n$  die Zahl der im Leitungsnetz installierten Lampen ist, wobei für jede Bogenlampe, jeden Motor und anderen stromverbrauchenden Apparat ein Äquivalent von zehn Glühlampen zu rechnen ist. Für jede Hauptleitung und die mit ihr verbundenen Zweigleitungen soll die Isolation mindestens

$$10000 + \frac{1000000}{n} \text{ Ohm}$$

betragen, wo bei  $n$  die Zahl der an diese Hauptleitung angeschlossenen Lampen ist.

Diese Forderungen sind in Übereinstimmung mit den vom Verbands deutscher Elektrotechniker gegebenen Vorschriften für Niederspannungsanlagen.

### Ausführung der Isolationsmessung.

I. Messung der Isolation des ganzen Leitungsnetzes gegen den Schiffskörper. Die Leitungen von den Maschinen nach dem Schaltbrette werden durch die Ausschalter unterbrochen, so daß jede Verbindung des Schaltbrettes, bezw. der auf demselben angebrachten Apparate mit der Maschine unterbrochen ist. Die Messung erfolgt bei der normalen Betriebsspannung; entweder dient als Stromquelle dabei eine der Dynamos oder auch eine tragbare Akkumulatorenbatterie oder Batterie von kleinen Trockenelementen, deren Klemmenspannung also 110 Volt mindestens betragen muß. Die Schienen SS (Fig. 467) des Schaltbrettes werden miteinander verbunden, sämtliche Ausschalter der Hauptleitungen sind eingeschaltet, ebenso alle Schalter in den Zweigleitungen; auch sind alle Sicherungen eingesetzt. Jedoch werden Glühlampen, Bogenlampen, Motoren und andere stromverbrauchende Apparate von ihren Leitungen abgetrennt.

Der negative Pol der Meßbatterie (Fig. 467, s. f. S.) bezw. der Dynamo wird durch den Weston-Spannungsmesser S mit den Sammelschienen verbunden, während der  $+$ -Pol der Meßbatterie bezw. Dynamo mit dem Schiffskörper verbunden wird.

1. Der Ausschalter  $h$  wird geschlossen und die Spannung  $E_1$  der Dynamo bezw. Batterie abgelesen.

2. Der Ausschalter  $h$  wird geöffnet und die Spannung  $E_2$  bei S abgelesen. Hat S den Widerstand  $W$ , so fließt in diesem Falle durch S und damit auch von der Maschine durch den Schiffskörper in das Leitungsnetz durch die Isolierschicht der Strom  $E_2/W$ . Ist ferner  $F$  der Übergangswiderstand vom Schiffskörper zum Leitungsnetz, so ist der Widerstand des Stromweges zwischen den Polen der Dynamo  $F + W$ , weil der Widerstand der Leitungen aus Kupfer gegenüber  $W$  sehr klein ist. Nach dem Ohmschen Gesetze ergibt sich

$$E_1 = (F + W) \cdot \frac{E_2}{W},$$

woraus

$$(85) \quad F = W \left( \frac{E_1}{E_2} - 1 \right) \text{ Ohm}$$

folgt.

Die Ablesung der Spannung  $E_2$  soll erst erfolgen, nachdem die Leitung etwa während einer Minute der Betriebsspannung ausgesetzt ist.

II. Fehlerbestimmung der einzelnen vom Schaltbrett abzweigenden Hauptleitungen und deren Zweigleitungen, sowohl der Hin- als auch der Rückleitungen einzeln.

Bei dieser Messung (Fig. 468) müssen sämtliche stromverbrauchenden Apparate (Lampen, Motoren, Heizkörper u. s. w.)

Fig. 467.

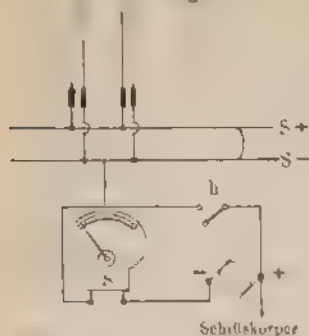
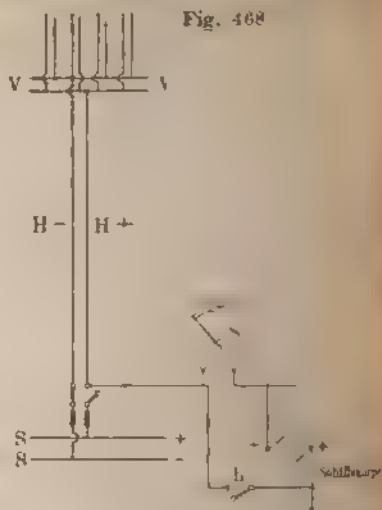


Fig. 468



der zu untersuchenden Leitung abgeschaltet sein, dagegen sind sämtliche Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen.

Nach Fig. 468 soll der Isolationswiderstand der Leitung  $H_+$  und der an sie angeschlossenen Verteilungsleitungen gegen den Schiffskörper gemessen werden. In der Verteilungsstation  $VV$  sind sämtliche Ausschalter geschlossen. S ist ein Weston-Spannungsmesser.

1. Man mißt nach dem Einschalten von  $h$  die Spannung der Dynamo bezw. der Batterie.

2.  $h$  wird geöffnet, und nach etwa einer Minute wird die Spannung  $E_1$  in  $S$  abgelesen. Ist  $W$  der Widerstand des Voltmeters und  $f$  der Isolationswiderstand der Hauptleitung  $H_+$  und der an sie angeschlossenen Verteilungsleitungen gegen den Schiffskörper, so ergibt sich

$$f = W \left( \frac{E_1}{E_2} - 1 \right) \text{ Ohm.}$$

Die Untersuchung der einzelnen Hauptleitungen kann in anderer Weise auch während des Betriebes stattfinden.

Zur Schätzung des Isolationswiderstandes genügt es auch, einen Wechselstrominduktor nebst Wechselstromglocke zu verwenden (siehe S. 4). Die Schaltung bei der Untersuchung der einzelnen Hauptleitungen zu ihrer Abzweigungen, bezw. der Zweigleitungen allein, erfolgt nach Fig. 469, wobei an Stelle von  $S$  die Wechselstromglocke zu verwenden ist. Die Leitung mit dem Schalter  $h$  fällt fort, an Stelle der Dynamo tritt der Wechselstrominduktor. Aus der Geschwindigkeit der Kurbeldrehung, bei welcher ein Läuten der fest aufgehängten Glocke eintritt, läßt sich auf den Isolationswiderstand schließen. Durch vorherige Messung unter Benutzung eines Rheostaten (siehe Fig. 36) kann man ungefähr den Widerstand des Schließkreises feststellen, bei welchem bei schnellster Kurbelbewegung ebenfalls noch ein Läuten der Glocke eintritt.



## Sechster Abschnitt

# Elektrisches Signalwesen und Fernzeigeanparate.

## Stet-zehntes Kapitel.

### Elektrische Wecker und Telephonie.

§ 145. **Elektrische Wecker.** Auf einem Grundbrettchen ist der Elektromagnet *m*, die Glocke *g* und der Hammer *h* befestigt, welcher an der Blattsfeder *f* den vor den Polen des Magneten liegenden Anker *c* trägt. An der Rückseite des Ankers befindet sich eine Feder mit Platinkontakt, der gegen die Platinspitze einer kleinen Schraube *S* sich abspielt, die in einer auf dem Grundbrett befestigten Mutter drehbar ist.

Wird der Wecker mit den Klemmen *K K* in einem Stromkreis eingeschaltet, so zieht der Elektromagnet den Anker *c* an, wobei der Strom an dem Platinkontakte unterbrochen wird. Der Anker *c* schnellt so wieder von den Polen zurück, schließt beim Anlegen des Platinkontaktes gegen die Schraubenspitze von neuem den Strom u. s. w.

Fig. 469

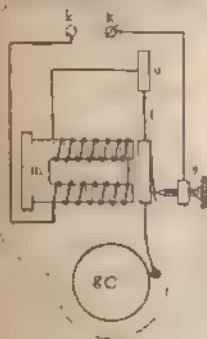
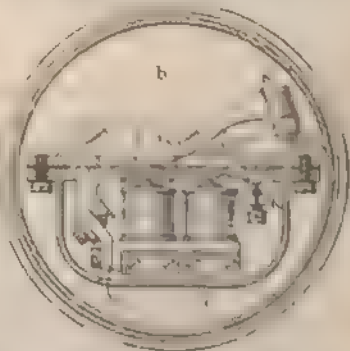


Fig. 470



Für den elektrischen Signalbetrieb an Bord eignen sich besonders wasser- und luftdichten Alarmwecker. Bei den von Siemens und Halske, A. G., Berlin, konstruierten Alarmweckern (Fig. 470) wird der Abschluß durch eine Metallmembran (Membran-

wecker) erreicht, die einen Teil des das Werk umschließenden, kastenförmigen Gehäuses *c* bildet. Die Membran *f* trägt außen den Klöppel *g* und innen den Anker *h*. Die Membran übt die bei der Glocke durch die Blattfeder auf den Anker bewirkte Federkraft aus. Der Klöppel schlägt gegen einen an der Glockenschale angegossenen Vorsprung.

Außer dieser Konstruktion wird von derselben Firma auch für den gleichen Zweck ein Wecker mit Cylindermembran (Fig. 471) hergestellt, an deren Innenseite der Anker befestigt ist, während an der entsprechenden Außenseite der Stiel mit dem Klöppel angebracht ist. Die Cylindermembran

Fig. 471.



Fig. 472.

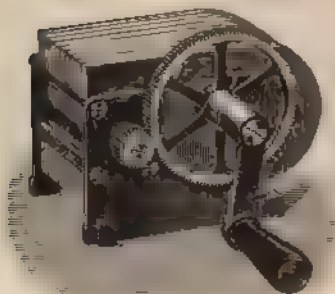
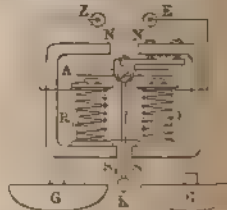


Fig. 473.



Fig. 474.



ist an beiden Enden sorgfältig abgedichtet und umschließt die sämtlichen beweglichen Teile des Weckers.

Die Membranwecker werden für jede Spannung bis 120 Volt in verschiedenen Größen und sowohl mit Selbstunterbrechung als auch mit Ausschluß — Kurzschlußwecker — hergestellt. Ihr Energieverbrauch ist sehr gering; so sind zum Betriebe eines Weckers mit Selbstunterbrechung der 500  $\Omega$  Widerstand hat, bei empfindlicher Ankereinstellung 0,001 Ampere erforderlich, für sehr starkes Läuten 0,03 Ampere.

Der polarisierte Wecker für Wechselstrom (Wechselstromwecker) wird in solchen Anlagen verwendet, wo an Stelle der Batterien ein Magnetinduktor (Fig. 472) benutzt wird, der Wechselströme bei der Drehung der Ankerspulen hervorbringt (vergl. Fig. 213). In Fig. 473 ist ein Wechselstromwecker der Aktiengesellschaft Mix und Genest, Berlin, dargestellt, dessen Schaltung aus Fig. 474 ergibt.

Auf den Südpolen zweier hufeisenförmigen Magnete sind die Drahtspulen  $BB_1$  mit Eisenkern aufgesetzt. Der an dem einen Nordpol befestigte Arm trägt einen um  $C$  drehbaren Anker  $A$ , welcher nordmagnetisch ist, die beiden ihm gegenüber liegenden Enden der Eisenkerne sind Südpole. Durch den Wechselstrom werden die Eisenkerne fortdauernd magnetisiert, daß abwechselnd der eine Pol derselben gestärkt, der andere geschwächt wird. Durch die Schwingungen des Ankers  $A$  schlägt der an ihm befestigte Klöppel  $K$  abwechselnd an die eine und an die andere Glocke.

§ 146. Tableau oder Anzeigevorrichtung. Beim Anruf von mehreren Stellen nach einem Orte wird an letzterem ein Tableau mit einer Glocke aufgestellt; bei jedem Rufe ertönt die Glocke, und das Tableau zeigt, von welcher Stelle der Ruf kommt.

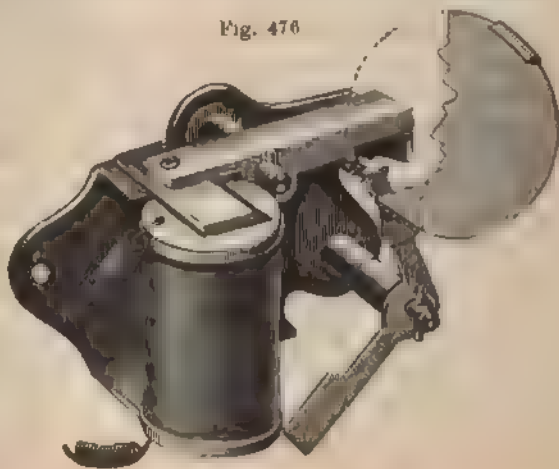
Für Bordzwecke eignet sich am besten das Tableau mit Fallklappen. Fig. 475 zeigt ein Tableau der Aktiengesellschaft Mix und Henest, Berlin. Der drehbare Winkelhebel (Fig. 476) trägt an einem Hebelarm die kreisförmige Fallklappe, während am anderen ein Gegengewicht liegt. Mit einer Nase legt sich der erstere gegen den Vorsprung des Hebels, an dessen anderem Ende der Anker liegt. Solange die Magnetspule stromlos ist, bleibt der Anker in geringer Entfernung von den Polen. Fließt ein Strom durch die Spule, der an irgend einer der rufenden Stellen geschlossen wird, so wird der Anker angezogen.

Fig. 475.



Der Fallklappenhebel wird frei, und die Fallklappe wird gehoben, bis sie vor der gehörigen Öffnung des die Fallklappen enthaltenden Kastens gelangt, wo ein Anschlagstift die Bewegung des Fallklappenträgers begrenzt. An der Fallklappe selbst wird die Nummer oder eine andere Bezeichnung der rufenden

Fig. 476



Stelle angebracht (Fig. 475). Durch Bewegen eines Schiebers, der für jede Fallklappe einen Anschlagstift trägt, werden die Fallklappen wiederum gehoben und für neuen Anruf bereit gehalten.

Fig. 477.

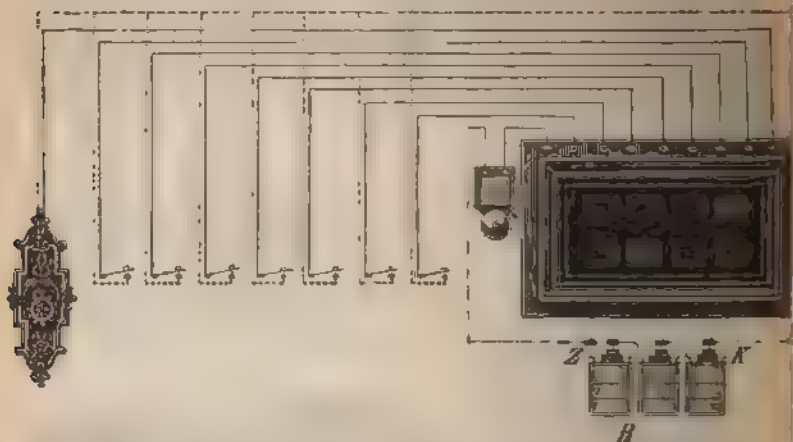


Fig. 477 stellt ein Tableau der Aktiengesellschaft Mix und Genest in Verbindung mit acht Stationen dar. Im Tableau sind acht Fallklappen angeordnet; je ein Ende der sämtlichen acht Magnetspulen ist mit dem Wecker verbunden, während die anderen acht Enden bezw. an die Anschlüsse 1 bis 8 gelegt sind.

Fig. 478.



An den Stellen 1 bis 8 sind Kontaktpunkte (Fig. 478) vorhanden, bei denen durch einen Druck auf einen Knopf *c* das Berühren der sich bewegenden Metallfedern *f* und *f*<sub>1</sub> erfolgt, wobei der Strom geschlossen wird.

An den Stellen 1 bis 8 sind Kontaktpunkte (Fig. 478) vorhanden, bei denen durch einen Druck auf einen Knopf *c* das Berühren der sich bewegenden Metallfedern *f* und *f*<sub>1</sub> erfolgt, wobei der Strom geschlossen wird.

**§ 147. Das Telefon.** In Fig. 479 ist der Längsschnitt durch ein Telefon mit stabförmigem Magneten *NS* dargestellt. Der Magnet liegt in einem Gehäuse *AA* aus Hartgummi und trägt am einen Ende eine Spule *D* aus feinem isolierten Kupferdraht, der an die Klemmen *e* und *d* angeschlossen ist. Dicht vor dem Nordpole des Stabes liegt eine am Rande eingeklemmte kreisförmige und dünne Eisenblech. Zum Schutze des Eisenblechs liegt über demselben das Stück *BB* mit trichterförmiger Mündung und einer kreisförmigen Öffnung an der der Eisenplatte zugekehrten Seite. Werden zwei solche Telephone durch zwei voneinander isolierte Leitungen miteinander verbunden, so werden die gegen die Eisenscheibe des einen Telefons gesprochenen Worte am anderen wiedergehört. Die Entfernung beider Telephone voneinander kann dabei mehrere Kilometer betragen, ohne daß die Übertragung der Worte undeutlich wird.

Trifft eine Schallwelle beim Sprechen gegen die Eisenmembran

des ersten Telephons (Sender), so wird die Membran in der Mitte zunächst durchgebogen und in Schwingungen versetzt. Hierdurch wird die

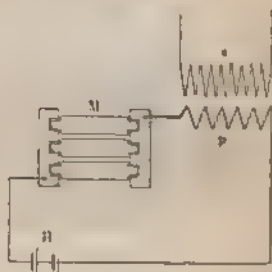
Fig. 479.



Fig. 480.



Fig. 481.



Permenabilität in der Nähe des Poles abwechselnd erhöht und geschwächt, und damit der Kraftlinienfluß vom Pole in die Eisenplatte verändert, zugleich auch der Kraftlinienfluß im Innern der Spule D. In der letzteren entstehen also Induktionsströme

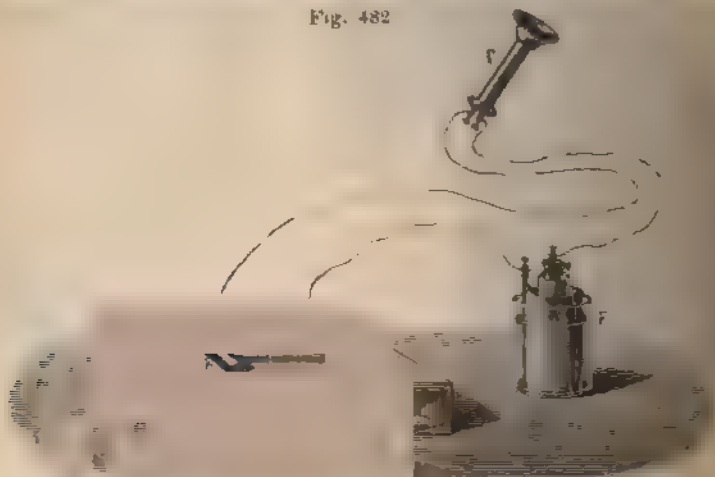
wechselnder Richtung, die in die Spule des zweiten Telephons (Empfänger) geleitet, je nach der Richtung den Magnetismus des von der Spule umschlossenen Poles stärken oder schwächen. Die elastische eiserne Membran des Empfängers wird also bald stärker, bald weniger stark durchgebogen, sie gerät in Schwingungen, die denen der Membran im Sender durchaus entsprechen.

Zur Erhöhung der Lautwirkung wird auch an Stelle des Stabmagneten ein hufisenförmiger Magnet verwendet. Auf die Pole des Magneten sind Polschuhe aa aufgesetzt, in welche je fünf oder mehr weiche Eisendrahte geschraubt sind, die den Kern der Spulen b (Fig. 480) bilden.

§ 148. Das Mikrophon. Eine sehr einfache Konstruktion desselben ist in Fig. 482 dargestellt. Über zwei Stäbchen b und b' aus

harter Gaskohle ist ein drittes ebensolches Stäbchen *c* gelegt. Dieses Mikrophon und das Telephon *T* als Empfänger liegen im Stromkreise eines galvanischen Elementes. Solange keine Erschütterungen des Deckels *A* des Kästchens stattfinden, wird im Telephon nichts gehört. Wird dagegen in der Nähe des Kästchens gesprochen, so gerät der Deckel *A* in Schwingungen, wobei der Übergangswiderstand zwischen

Fig. 482



dem Stäbchen *c* einerseits und den Stäbchen *b* und *b'* andererseits in demselben Rhythmus geändert wird, in dem die Schwingungen des Schalles erfolgen. Dadurch wird aber die Stromstärke im Schließungskreise und damit auch die Stärke des Magneten im Telephon geändert. Die Schwankungen des Übergangswiderstandes im Mikrophon haben also Schwingungen der Eisenmembran des Telephons zur Folge, die sich der benachbarten Luft mitteilen. Bei Anwendung eines Mikrophons sind im ganzen die Stromänderungen viel beträchtlicher als bei zwei Telephonen, und damit sind auch die Geräusche im empfangenden Telephon sehr viel intensiver.

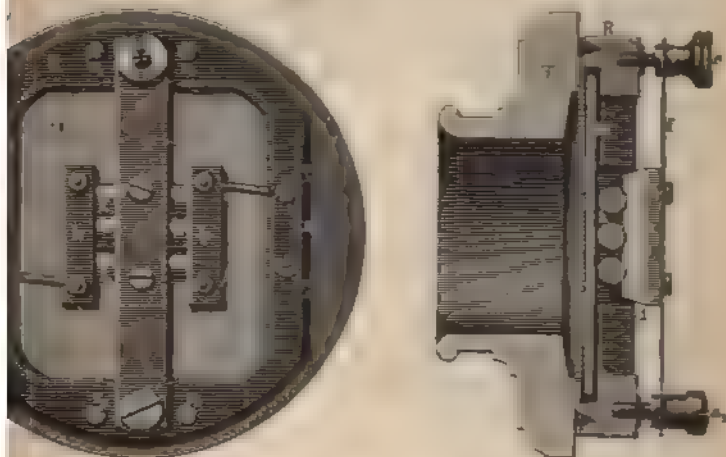
In Fig. 483 ist ein Mikrophon der Aktiengesellschaft Mix und Genes Berlin, dargestellt, das für den Fernsprechverkehr als Sender (Aufgeber) gebraucht wird. *R* ist ein gußeiserner Rahmen mit vier Schrauben *s*, zur Befestigung des Mikrophons an dem Sprechapparat. *M* ist eine zwischen Gummibändern liegende Platte aus trockenem Tannenholz, welche zur Annahme der Schallschwingungen bestimmt ist. Auf dieser Platte sind vier Kohlenbalken *bb* befestigt, die seitlich je drei cylindrische Bohrungen haben, in denen die Zapfen der cylindrischen Kohlenstäbchen *kkk* lagern. Dabei eine mit zwei Regulierschrauben *s* und *s*<sub>1</sub> versehene Blattfeder *f* kann das in einer Messingfassung befestigte Stück Filz *d* lose an die Kohlenstäbchen gedrückt werden. *T* ist der Sprechtrichter, und *a* und *a*<sub>1</sub> sind die Kontaktschrauben zum Einschalten des Mikrophons im Stromkreise.

Man unterscheidet zwischen Mikrophonen mit Kohlenwalzen und Kohlenstäben und solchen (Kohlenklein-Mikrophonen), in denen



gung oder unregelmäßig geformte Kohlenkörner den Kontakt vermitteln. Gezeigt werden zwei Arten des Mikrophons der Allgemeinelektrotechnik Siemens & Halske Berlin, bei dem in der Mitte der Sprechplatte aus Aluminiumpapier mit pulverisierten Kohlenkörnern gefüllter seidenartiger Beutel befestigt im Inhalt mit der Sprechplatte an der Befestigungsstelle in leitender Verbindung steht. Die Öffnung des Beutels wird durch eine Kohlenplatte

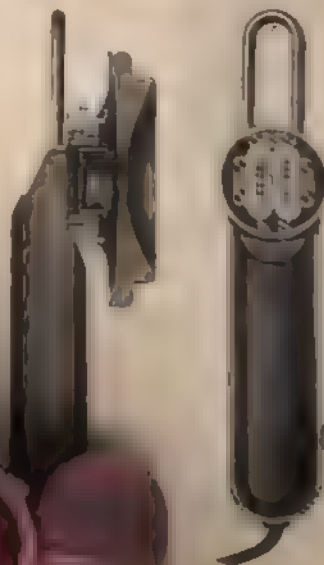
Fig. 449



men, die mit regulierbarem Druck gegen die Kohlenkörner liegt. Sind die Kohlenkornermikrophone in einem drehbaren Gehäuse angeordnet, so kann durch das Drehen des Gehäuses der Kohlenstaub an den angestellten der Kohlenkörner zu entfernen und auch ein Zusammenklappen der Körner zu verhindern. Bei dieser Konstruktion übertrifft das Mikrophon an Empfindlichkeit fast um das Doppelte das Walzenkornermikrophon.

Fig. 484

Fig. 485



**449. Das Mikrophon mit Telefon in indirekter Schaltung.** Die direkte Schaltung des Mikrophons und Telefons ist in Fig. 482 dargestellt.

In der indirekten Schaltung des Mikrophons liegt ein Stromkreis, der aus dem Mikrophon  $M$  und dem Telefon  $T$  besteht.

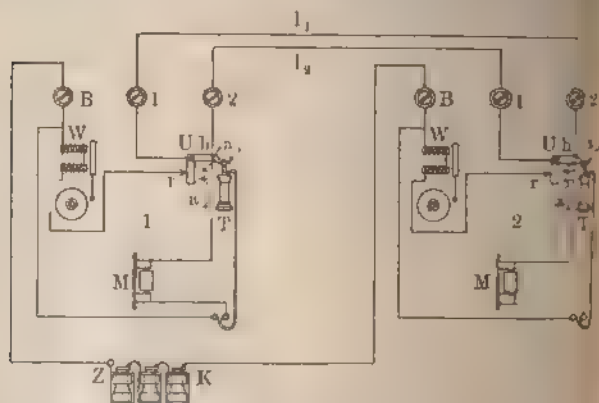


Wicklung aus isoliertem Kupferdraht in 100 bis 200 Windungen gewickelt ist. Über der primären Wicklung liegt die sekundäre  $s$  mit 200 bis 3000 Windungen. Die Enden der sekundären Wicklung sind mit dem Telephon (Empfänger) verbunden. Entstehen durch Schwingungen Widerstandsänderungen im Mikrophon, so wird die Stromstärke in  $p$  in Schwingungen geraten, wobei der Kraftlinien im Eisenkern sich ändert. Dadurch entstehen aber in der sekundären Wicklung Induktionsströme wechselnder Richtung (vergl. § 29), die nun, ins Telephon geleitet, die Eisenmembran desselben in Schwingung versetzen.

Diese indirekte Schaltung wird insbesondere bei der Übertragung der gesprochenen Worte auf weite Entfernungen benutzt, während die direkte Schaltung sich nur für kurze Entfernungen (Hausleitungen) eignet.

§ 150. Telephonstationen. Telephonstation mit eingeschaltetem Mikrophon. In Fig. 488 ist eine Wand für Hausbetrieb mit Wecker der Aktiengesellschaft Mix und Gerber in Berlin, dargestellt. Zur Übertragung nach Fig. 486 sind drei Leitungen erforderlich. Der Anruf erfolgt einfach durch Abnehmen des Telephons.

Fig. 488.



vom Halter  $h$ , wobei der vertikale Arm desselben sich gegen Kontakte  $a_1$  und  $a_2$  legt. Wird das Telephon in 2 abgenommen, fließt der Strom von  $K$  nach Station 2 und hier durch Mikrophone und Telephon nach  $a_1$  und  $a_2$ . Von der Klemme 2 fließt der Strom durch die Leitung 1 nach dem Wecker in der Station 1 und zurück zum Pol der Batterie. Beim Sprechen sind beide Telephone abgenommen und im Stromkreise liegen die Mikrophone und Telephone in der Schaltung, während die Leitungen  $l_1$  und  $l_2$  parallel geschaltet. Die Verbindung der Stationen dienen.

Telephonstation mit indirekt eingeschaltetem Mikrophon. Apparate dieser Art, welche von der Aktiengesellschaft Mix und Genest, Berlin, herrühren, sind in Fig. 487 dargestellt. Die

Fig. 487.

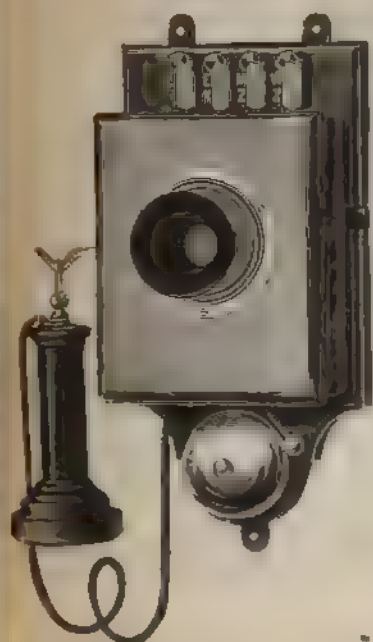


Fig. 488.

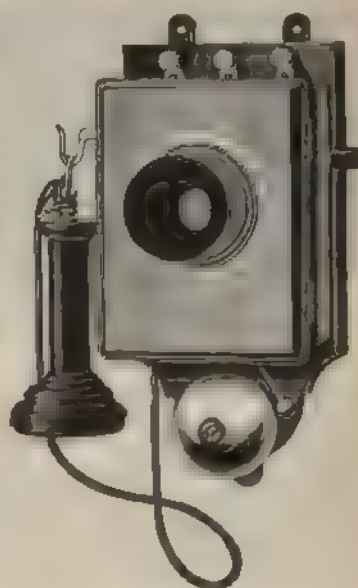
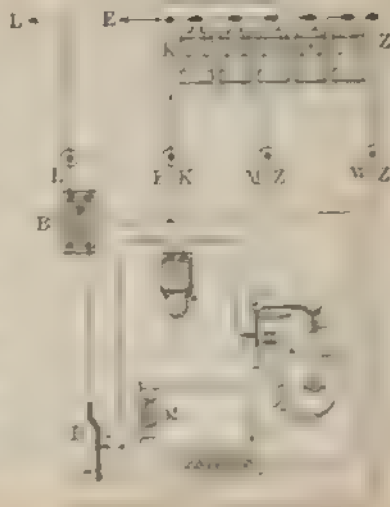


Fig. 489.

Schaltung im Innern der Apparates ergibt sich aus der Fig. 4-9. *U* ist der selbsttätige Umschalter, *D* der Druckknopf, *Bl* ein Blitzableiter, der nur zur Anwendung kommt bei Leitungen im Freien. *M* ist das Mikrophon und *J* der Induktor.

Für weitere Entfernungen wird nur eine Luftleitung *L* gelegt, während die Leitung *K* aus eine ins Grundwasser gelegte Metallplatte (Drantspitter aus Metall) führt. Der Stromlauf kann dann so betrachtet werden, wie wenn das feuchte Erdreich als Leiter dient.



Der Blitzableiter besteht im einfachsten Falle aus zwei an den Innenseiten geriefelten und dicht zusammenliegenden Metallplatten (Fig. 490), wobei die Schneiden der Platten gekreuzt liegen, so

Fig. 490.



dass eine große Zahl von Kreuzungspunkten entsteht, durch die das Überspringen des Ladungsstromes der atmosphärischen Elektrizität erleichtert wird (Plattenblitzableiter).

Die Leitung *L* (Fig. 488) und der Druckknopf *D* sind mit der einen Platte verbunden, während in Erdreich *E* durch die Klemme *EK* mit der

anderen Platte in Verbindung steht. Fig. 490 stellt einen Plattenblitzableiter für fünf Leitungen dar. Der Stromlauf beim Anrufen dadurch Niederdrücken des Druckknopfes *D* geschieht, sowie der Stromlauf beim Sprechen, wenn beide Telephone abgenommen sind, ergibt sich aus der Fig. 489.

Die in Fig. 487 dargestellte Telephonstation erhält für den Anruf in den meisten Fällen eine Wechselstromglocke und einen Wechselstrominduktor.

§ 151. Lautsprechende Telephone und Telephonapparate der Aktiengesellschaft Siemens und Halske, Berlin. Diese Telephone in einem wasserdichten Gehäuse kommen in solchen Anlagen zur Anwendung, wo eine laute und klare Übermittlung der Sprache sowie ein sicherer Schutz der Apparate gegen Feuchtigkeit und Staub erforderlich ist. Sie besitzen den seither an Bord gebrauchten Sprachrohren gegenüber den Vorteil einer leichteren Anlage einer klareren Sprache und ferner den Vorteil der Einrichtung des Verkehrs zwischen beliebigen Stellen, ohne dass dabei die Deutlichkeit beeinträchtigt wird.

Als Mikrophone kommen hierher die Beutelmikrophone (siehe S. 35) zur Anwendung. Der Anruf geschieht durch die auf S. 335 beschriebenen Membranwecker.

Für kürzere Entfernungen wie an Bord der Kriegs- und Handelsschiffe ist das Mikrophon der Sendestation mit dem Telephone der Empfangsstation in direkter Schaltung verbunden. Für die Lauttragung auf größere Entfernungen müssen Induktoren (siehe § 1) angewendet werden.

Vorteilhaft schaltet man die Apparate an eine vorhandene Son-

omanlage (Gleichstrom) an, indem man von zwei Punkten eines stimmten, zwischen den Hauptleitungen eingeschalteten Widerstandes  $e$  passend gewählte Teilspannung zum Betriebe der Apparate abnimmt.

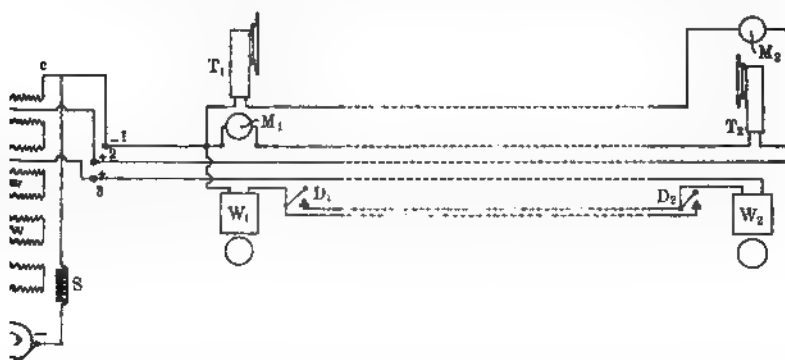
Ist  $w$  der bei der Betriebsspannung  $e$  eingeschaltete Widerstand (Fig. 491), ist die Stromstärke  $i$  in demselben  $i = e/w$ .

Liegt zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  der Widerstand  $w_1$ , so die Teilspannung zwischen denselben  $e_1 = i w_1$ . Je nach der Wahl von  $w_1$  kann  $e_1$  einen beliebigen Teil von  $e$  betragen.

In Fig. 492 ist das Schema der direkten Schaltung zur Benutzung der Teilspannung zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  dargestellt.  $S$  ist eine Drosselspule.

Rotiert der Anker der Dynamo, so ist in Rücksicht auf den Anschluss der Spulen, welchen die Bürsten am Kollektor herbeiführen, die M.K. der Dynamo eine freilich innerhalb sehr enger Grenzen variierende GröÙe. Diese Schwingungen der E.M.K. des Ankers, die sich als die Summe der elektromotorischen Kräfte aller wirksamen Spulen ergibt, sind um so kleiner, größer die Spulenzahl ist und je weniger Windungen jede der Ankerspulen

Fig. 492.



hält. Wenngleich diese geringen regelmäßigen und rasch aufeinander folgenden Schwingungen der E.M.K. an den Glühlampen, für welche die nämliche Strom liefert, nicht wahrnehmbar sind, ebenso wenig wie die Änderung der Stärke eines Wechselstromes von genügender Frequenz, so können sie doch durch das Telefon wahrgenommen werden. Die Drosselspule, d. i. eine Spule aus zahlreichen Windungen isolierten Kupferdrahtes, die auf einem geschlossenen Eisenkern liegen, gleicht infolge ihrer hohen Selbstinduktion bei der schwach vibrierenden E.M.K. entstehenden sehr geringen Stromschwankungen aus.

Die Teilspannung zwischen den Punkten  $a$  und  $c$  bzw. 3 und 1 dient zum Betriebe des Weckerwerkes, oder das Weckerwerk ist an den Nebenschluß zum Widerstand zwischen 1 und 3 gelegt. Die Teilspannung zwischen  $b$  und  $c$  bzw. 2 und 1 dient zum Betriebe des Telephone. Die Mikrophone und Telephone liegen in parallelen Leitungen und zwar ist immer das Mikrophon der einen Station mit dem Telephone der anderen verbunden.

Zum Betriebe der Mikrophone und Wecker können auch Elemente und Akkumulatoren verwendet werden. Dabei wird freilich für das Schließen des Mikrophonkreises ein besonderer Druckknopf außer dem für den Anruf nötig.

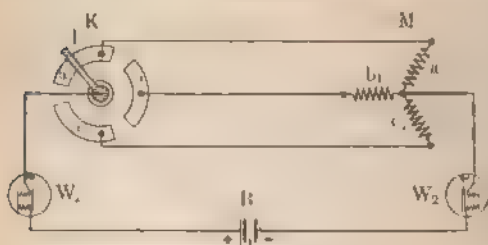
Durch sogenannte Stationswähler können von mehreren Stationen je zwei in Verbindung gebracht werden, oder eine Centralstelle kann mit jeder einzelnen Empfangsstation, oder auch mit mehreren oder mit allen zugleich in Verbindung gesetzt werden.

## Achtzehntes Kapitel.

### Schiffskommando- und Signalapparate.

§ 152. Die Maschinen-, Kessel- und Rudertelegraphen von Siemens und Halske. Zur Erklärung der Wirkungsweise dieser

Fig. 493.



Apparate diene Fig. 493. An der Sendestation  $S$  seien drei Kontakte  $a$ ,  $b$  und  $c$  vorhanden, an denen die Kurbel, welche durch den Wecker  $W_1$  mit der Batterie verbunden ist, bewegt werden kann. Die Empfänger dienen je Magnete, deren Spulen

mit  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  bezeichnet sind. Die drei äußeren Enden dieser Spulen sind bezw. mit den Kontaktstücken  $a$ ,  $b$ ,  $c$  verbunden, während die anderen Enden dieser Spulen unter sich und durch eine den Wecker enthaltende Leitung mit dem — Pol der Batterie in Verbindung stehen. Liegt die Kurbel auf  $a$ , so ist allein der Magnet  $a_1$  erregt; liegt die Kurbel aber auf  $b$  oder  $c$ , so ist bezw.  $b_1$  oder  $c_1$  erregt. Denken wir uns die Kerne der drei Magnete vertikal gestellt und in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks liegend, während im Mittelpunkte des letzteren ein kleiner länglicher, eiserner Zeiger horizontal drehbar ist, so wird

ser mit seiner Längsachse immer in der Richtung nach dem s Magneten einstellen, welcher gerade erregt ist. Dadurch Iso die Einstellung der Kurbel des Senders am Empfänger h gemacht werden.

mit nun auch das Signal nicht nur von der einen zur anderen sondern auch von der letzteren zur ersteren gegeben werden

in den richtigen g des Zeichens tätigen, werden ler Schaltungen 93) zusammen- (Fig. 494). Zur sferung dient da: s Dynamo, zwieren Polklemmen derstand  $w$  ein- tet ist. Von zwei 1  $a$  und  $b$  dieses andes sind die reise für beide pparate abge- so daß die Teil- ng zwischen  $a$  zur Verwendung (vergl. S. 365).

in Betriebe der Telegraphen kann auch die sekundäre Spannung eines Gleichstrom-Umformers, Fig. 495 (vergl. § 124), verwendet

Fig. 494.

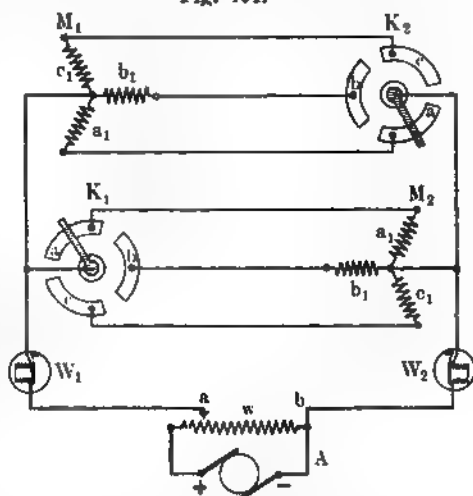
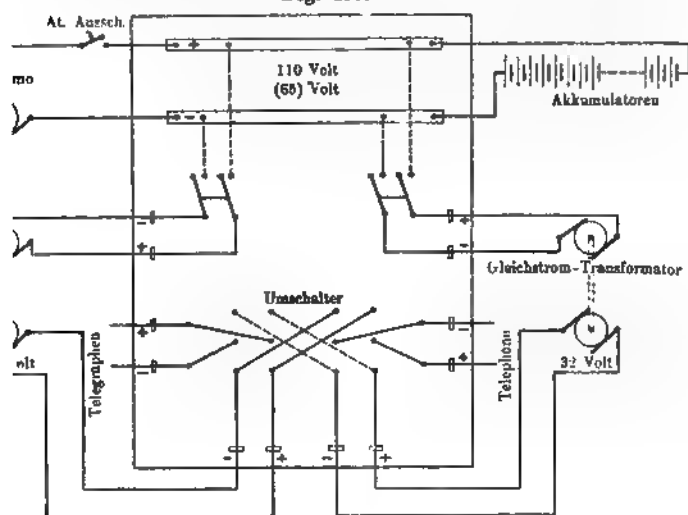


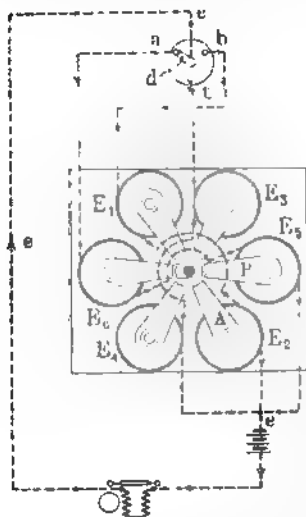
Fig. 495.



werden. Die primäre Spannung beträgt 110 bzw. 65 Volt. Durch Umschalter können die Telegraphen- und Telephonstromkreise an den einen oder anderen Transformator angeschlossen werden. Die Akkumulatorbatterie ist der Dynamo zwischen den Sammelschienen *ss* parallel geschaltet, sie kann nach der Ladung für einen Teil des Lichtbetriebes (Positionslaternen u. s. w.) Strom liefern, auch bei Störungen an der Dynamo oder bei stark wechselnder Belastung derselben allein die Stromlieferung übernehmen. Die Entnahme des Stromes für den Gleichstrom-Umformer aus dem Akkumulator hat den Vorteil, daß die primäre Spannung, wie auch die sekundäre, nahezu konstant bleibt und nur langsam abnimmt, während jede größere Belastungsänderung der Dynamo eine Änderung der Tourenzahl des Gleichstrom-Umformers und zugleich eine Schwankung der Betriebsspannung für die Telegraphen u. s. w. hervorbringt. Auch während der Ladung werden durch den Akkumulator diese Schwankungen erheblich vermindert (Pufferbatterie).

Zur wirklichen Ausführung des Prinzips dient ein System von Elektromagneten, welches in Fig. 496 dargestellt ist und einen voll-

Fig. 496.



kommenen magnetischen Kreis besitzt als das Magnetsystem in Fig. 493. Auf einer Grundplatte sind sechs Elektromagnete  $E_1$  bis  $E_6$  im Kreise aufgestellt. Die Endflächen der Polschuhe  $P$  bilden einen zylindrischen Raum, in welchem um eine zu den Magnetkernen parallele Achse ein kleiner Anker  $A$  drehbar ist. Die unteren Enden der Elektromagnete sind ebenso ausgebildet, wie die oberen und umschließen mit ihren Polschuhen einen zweiten Anker  $A_1$ , der mit dem oberen durch eine Welle verbunden ist. Je zwei diametral gegenüber liegende Magnetspulen sind derartig in Reihe geschaltet, daß sie einander oben, also auch unten entgegengesetzte Pole zukehren. Fließt ein Strom durch ein solches Spulenpaar, so entsteht zwischen den zugehörigen Polschuhen oben wie unten ein kräftiges Feld, und die drehbaren

Anker  $A$  stellen sich in die Verbindungslinie der Pole ein. Dreht man die Kurbel  $d$  des Umschalters (Kommutator, Fig. 496), so werden nacheinander die Spulenpaare erregt, und der Anker folgt der Bewegung der Kurbel. Auf diese Weise würden sich jedoch nur sechs Stellungen des Ankers und damit auch nur sechs Signale ergeben, was in den meisten Fällen nicht ausreichend ist. Um die Zahl der Zeigerstellungen zu vergrößern, ist eine Einrichtung getroffen, daß jede Ankerstellung nicht nur einer, sondern mehreren Stellungen auf der Skala entspricht, d. h. daß die Ankerstellung 1 sowohl der Skalenstellung 1, als auch der Skalenstellung 7, 13, 19 u. s. w. ent-



spricht. Die Skalenstellung 7 kann aber erst dann erscheinen, wenn der Anker *A* einen vollen Umgang gemacht hat. Durch die kräftige Wirkung der Magnete wird verhindert, daß beim Umschalten der Anker nicht auf seiner Stellung bleibt, sondern stets den durch den Strom hervorgerufenen Polen folgt. Soll der Zeiger auf die Stellung 22, so muß die Kurbel zunächst drei volle Umdrehungen machen und alsdann auf die 4 gehen, der Anker wird dann ganz ebensolche Bewegung ausführen.

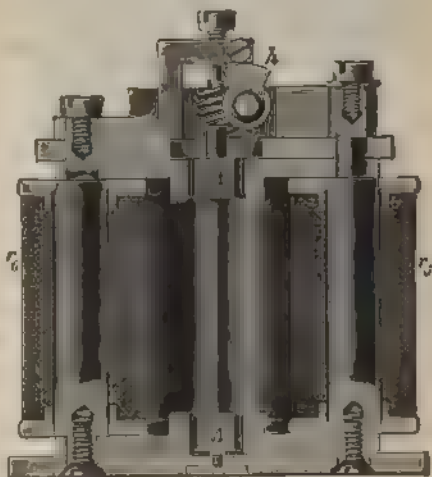
Da jedoch die Skala, über welcher sich der Zeiger bewegt, nicht größer als  $360^\circ$  sein kann, so muß die Ankerbewegung in ihrer Übertragung auf den Zeiger reduziert werden.

Hierzu ist eine Übertragung mit Schnecke und Trieb (Fig. 497) gewählt. Auf der Ankerwelle befindet sich eine Schraube ohne Ende, die in ein Zahnrad (Fig. 498) greift; der Stellscheibe ist auf der verlängerten Achse dieses Zahnrades befestigt. Durch diese Schneckenübertragung wird ein Pendeln des Zeigers auch bei schnellster Bewegung der Kurbel verhindert.

Wie beim Empfänger jeder Sprung des Zeigers um sechs Stellungen einen vollen Umlauf des Ankers erfordert, so muß auch das Bewegen des Stellscheibens am Sendeapparat (Fig. 499) um sechs Stellungen einen vollen Umlauf der Kurbel des Kommutators bedingen. Die letztere ist daher mit dem Stellscheibe in analoger Weise wie der Anker mit dem Zeiger verbunden. Da aber bei der Bewegung des Stellscheibens von Hand eine verhältnismäßig große Leistung erforderlich ist, so ist für die Übertragung der Bewegung des Stellscheibens auf die Kurbel des Umschalters eine solche durch Zahnräder gewählt.

Würde durch irgend einen Umstand, etwa durch Verstellen des Senderhebelns bei Stromlosigkeit des Apparates die Übereinstimmung der Stellungen des Senderhebelns und Empfängerzeigers aufgehoben sein, so ist durch eine einfache Einrichtung sogleich wieder gleiche Stellung in beiden Apparaten zu erreichen. Zu diesem Zwecke befindet sich an der Triebachse  $a_2$  (Fig. 497 und 498) ein Kreissegment *h*, das sich in den beiden Grenzlagen des Zeigers gegen einen Stift der Ankerachse *A* legt und eine weitere Umdrehung des Ankers verhindert. Bei der Inbetriebnahme der Apparate ist also nur nötig, die

Fig. 497.



Hebel der Sender in beide Grenzlagen zu legen, und der Einstellhebel ist, wenn nicht in der einen, so doch in der anderen Grenzlage des Zeigers mit diesem in Übereinstimmung gekommen.

In Fig. 499 ist ein Wandapparat dargestellt, an welchem leicht der Einstellhebel zu erkennen ist, durch den der Stromwender betätigt wird, und ferner der Zeiger des Empfängers. Sender und Empfänger sind also zu einem Apparat vereinigt.

Fig. 498

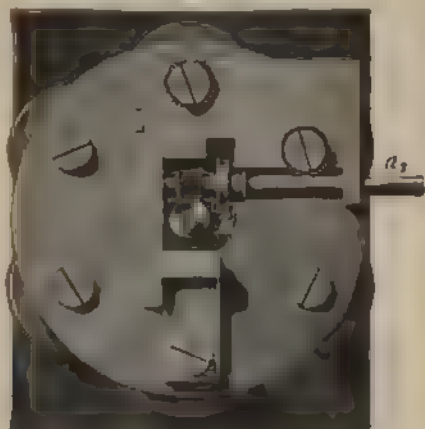


Fig. 499



Mit dem Stellhebel ist noch eine Bremsluftpumpe verbunden, welche gegen Stöße u. s. w., wie sie bei fehlerhafter Bedienung vorkommen können, sowie gegen unbeabsichtigtes Verstellen des Hebels schützt.

Mit dem Kommandoapparat sind die in Fig. 470 abgebildeten Membranwecker verbunden.

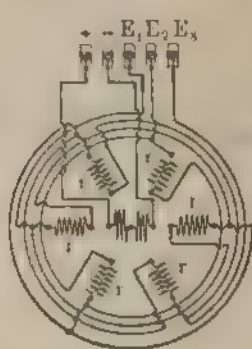
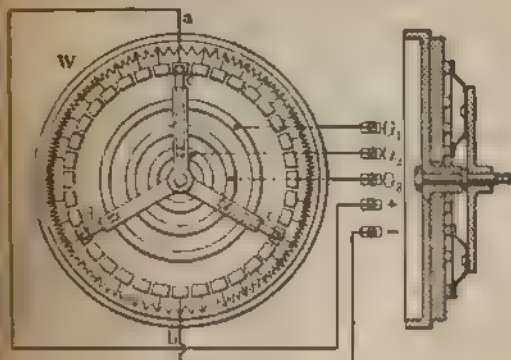
Nach dem im vorhergehenden entwickelten Prinzip sind auch die Kesseltelographen, sowie die Rudertelographen und Ruderlageanzeiger der Firma Siemens und Halske eingerichtet.

§ 153. Die Maschinen-, Ruder- und Kesseltelographen der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft Berlin. Die Konstruktion dieser Apparate beruht auf dem Drehfeldfernzeigersystem, einer Erfindung von Prof. Dr. L. Weber, deren Patente die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft besitzt. Der Hebel (Fig. 500) besteht aus einer Anzahl von Widerstandsspiralen, die zwischen im Kreise liegenden Kontakten angeordnet sind. Die Größe dieser Widerstände ändert sich nach einem bestimmten Gesetze, wie es auch in Fig. 500 zum Ausdruck gebracht ist. Dem in sich geschlossenen Widerstandsring wird an zwei diametral gegenüber liegenden festen Punkten *a* und *b* Strom zugeführt. Durch drei drehbar angeordnete Schleiffeder *c*

und  $c$ , welche um  $120^\circ$  gegeneinander gestellt sind, wird der Strom abgenommen und mittels der drei Fernleitungen  $G_1$ ,  $G_2$  und  $G_3$  dem Empfänger zugeführt. Dieser besitzt sechs Spulen  $r$  (Fig. 501), die um einen Kupfercylinder  $k$  (Fig. 502) radial angeordnet sind und in

Fig. 500.

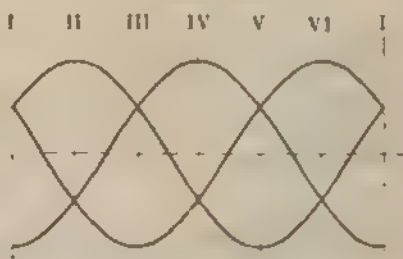
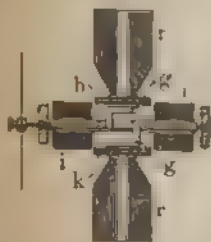
Fig. 501.



Sternschaltung (vergl. § 69) zueinander liegen, wobei immer zwei gegenüber liegende Spulen zusammengeschaltet sind. In der Mitte zwischen den Spulenkernen ist der den Zeiger tragende Elektromagnet drehbar gelagert, der zwei Z-förmige Teile aus weichem Eisen besitzt, die durch ein Zwischenstück  $h$  aus nicht magnetisierbarem Material starr miteinander verbunden sind. Die Magnetisierung der Eisenteile geschieht durch zwei feststehende Spulen  $i$  (Fig. 502). Durch den

Fig. 502.

Fig. 503.



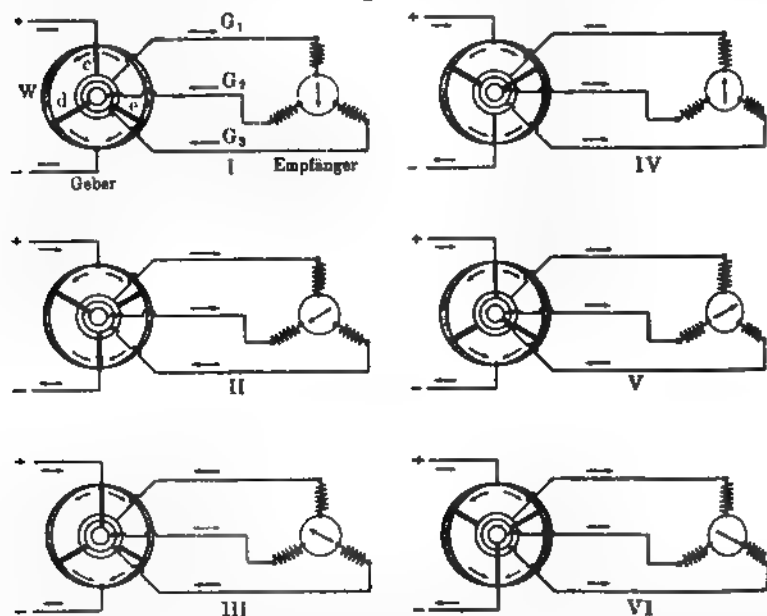
Kupfercylinder  $k$  wird eine kräftige Dämpfung der Bewegung der Z-förmigen Eisenteile bewirkt.

Die Wirkungsweise der Apparate ist folgende:

Zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  (Fig. 500) ist die Spannungsdifferenz am größten. Bewegt sich die Kurbel, und rückt der Punkt  $c$  auf der einen Seite oder auf der anderen an  $b$  heran, so wird die Spannungsdifferenz zwischen dem Kontakte  $c$  und  $b$  kleiner und schließlich Null, wenn  $c$  mit  $b$  zusammenfällt. Fließt durch jede der beiden Ringhälften

der Strom  $i$ , und liegt zwischen  $c$  und  $b$  der Widerstand  $w$ , so ist die Spannungsdifferenz zwischen ihnen  $e = iw$ . Beim Drehen der Kurbel steigt  $w$  zu einem Höchstwerte an, wenn  $c$  von  $b$  ausgeht, und nimmt dann wieder zu Null ab, ebenso auch geschieht es mit den Kontakten  $e$  und  $d$ . Diese Widerstandsänderungen zwischen den Kontakten  $c, d, e$  einerseits und  $b$  andererseits geschehen mit einer Phasendifferenz von  $120^\circ$ . Demgemäß werden auch die Spannungsdifferenzen zwischen den Kontakten  $c, d$  und  $e$  oder  $G_1, G_2$  und  $G_3$  eine Phasendifferenz von  $120^\circ$  gegeneinander aufweisen. In Rücksicht auf die Auswahl der Größe der einzelnen Widerstandsspiralen ändern sich bei der Bewegung der Kurbel die Spannungen zwischen den Klemmen  $G_1, G_2$  und  $G_3$  wie die Ordinaten der Kurven (Fig. 503). Die drei Doppel-

Fig. 504.



spulen des Empfängers sind in Sternschaltung verbunden, und in ihnen fließen Ströme, welche eine Phasendifferenz von  $120^\circ$  gegeneinander haben. Die drei Doppelspulen erzeugen also bei der in Fig. 501 dargestellten Anordnung ein Drehfeld, das sich synchron mit dem Geberhebel bzw. mit der Kurbel des Senders dreht.

In den Figuren 504I bis VI ist der Stromlauf für verschiedene Stellungen des Geberhebels dargestellt. Jedes Spulenpaar ist dabei der Einfachheit wegen durch eine Spule dargestellt. Die Zusammensetzung der von den einzelnen Spulenpaaren erzeugten magnetischen Felder erfolgt in derselben Weise, wie wir es bei der Beschreibung der Entstehung der Drehfelder besprochen haben.

Dem Geber wie dem Empfänger ist Gleichstrom auszuführen, dessen Spannung an den Klemmen der Apparate etwa 25 Volt betragen muß. Zur Stromlieferung dient am besten eine besondere Dynamo oder ein Akkumulator. Erfolgt der Anschluß der Apparate an die für die Beleuchtung des Schiffes aufgestellten Dynamos, so muß in die Zuleitungen zu den Apparaten ein entsprechender Vorschaltwiderstand eingeschaltet werden. Nach dem im vorstehenden entwickelten Prinzip sind die Maschinen-, Ruder-, Heizraum-, Dock-, Artillertelegraphen und Torpedosignalgeber der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft Berlin eingerichtet.

§ 154. Maschinen-, Kessel-, Heizraum- und Rudertelegraphen der Union-Elektrizitätsgesellschaft Berlin. Das Schaltungs-  
schema zwischen zwei Stationen ist in Fig. 504 dargestellt. Der Empfänger ist bei diesen Apparaten ein Voltmeter nach Weston, dessen Zeiger durch Spannungsänderungen am Geber eingestellt wird. Diese Spannungsänderungen werden folgendermaßen herbeigeführt. Durch den Widerstand  $W$  (Fig. 505) fließt der Strom  $i$  einer Dynamo oder eines Akkumulators. Die Mitte  $o$  dieses Widerstandes und der Kontakt  $s-s$ , auf welchem die Kurbel schließt, sind mit dem Voltmeter  $V$  der Empfangstation verbunden. Sobald die Kurbel  $k$  auf  $o$  steht, ist die Spannungsdifferenz zwischen den Zuleitungen nach dem Voltmeter gleich Null und in diesem fließt kein Strom. Wird die Kurbel auf den Kontakt 1 (nach rechts) gestellt, so ist zwischen den Anschlüssen der Voltmeterleitungen eine Spannungsdifferenz vorhanden, welche gleich dem Produkte aus der Stromstärke  $i$  und dem zwischen 0 und 1 liegenden Widerstande ist. Je weiter die Kurbel nach rechts bewegt wird, desto größer wird die Ausschlagung des Voltmeterzeigers. Bewegt man die Kurbel von 1 nach 0 zurück, so gerät der Zeiger auf den entgegengesetzten Ausschlag.

Darüber ergibt sich durch die W. v. Siemens'sche Fig. 505, das schematisch dargestellte Apparate. Für den Geber ist eine kleine Dynamo oder der Widerstand  $W$  in Form eines Kessels  $K$  oder eines Heizraums  $H$  des Voltmeters und die Kontakte  $s$  gegeben. Ferner eine langgestreckte Transmitter- oder Ruder- oder Kessel- oder Heizraum- oder Dock- oder Artillertelegraphenstation. Die Zuleitungen zu den Voltmeteranschlüssen sind durch die Zuleitungen des Voltmeters mit dem Geber verbunden. Der größte Ausschlag des Voltmeters ist durch die Transmitter- oder Ruder- oder Kessel- oder Heizraum- oder Dock- oder Artillertelegraphenstation gegeben. Die Zuleitungen zu den Voltmeteranschlüssen sind durch die Zuleitungen des Voltmeters mit dem Geber verbunden.

Kurzerhandlung. Die Zuleitungen zu den Voltmeteranschlüssen sind durch die Zuleitungen des Voltmeters mit dem Geber verbunden. Der größte Ausschlag des Voltmeters ist durch die Transmitter- oder Ruder- oder Kessel- oder Heizraum- oder Dock- oder Artillertelegraphenstation gegeben. Die Zuleitungen zu den Voltmeteranschlüssen sind durch die Zuleitungen des Voltmeters mit dem Geber verbunden.

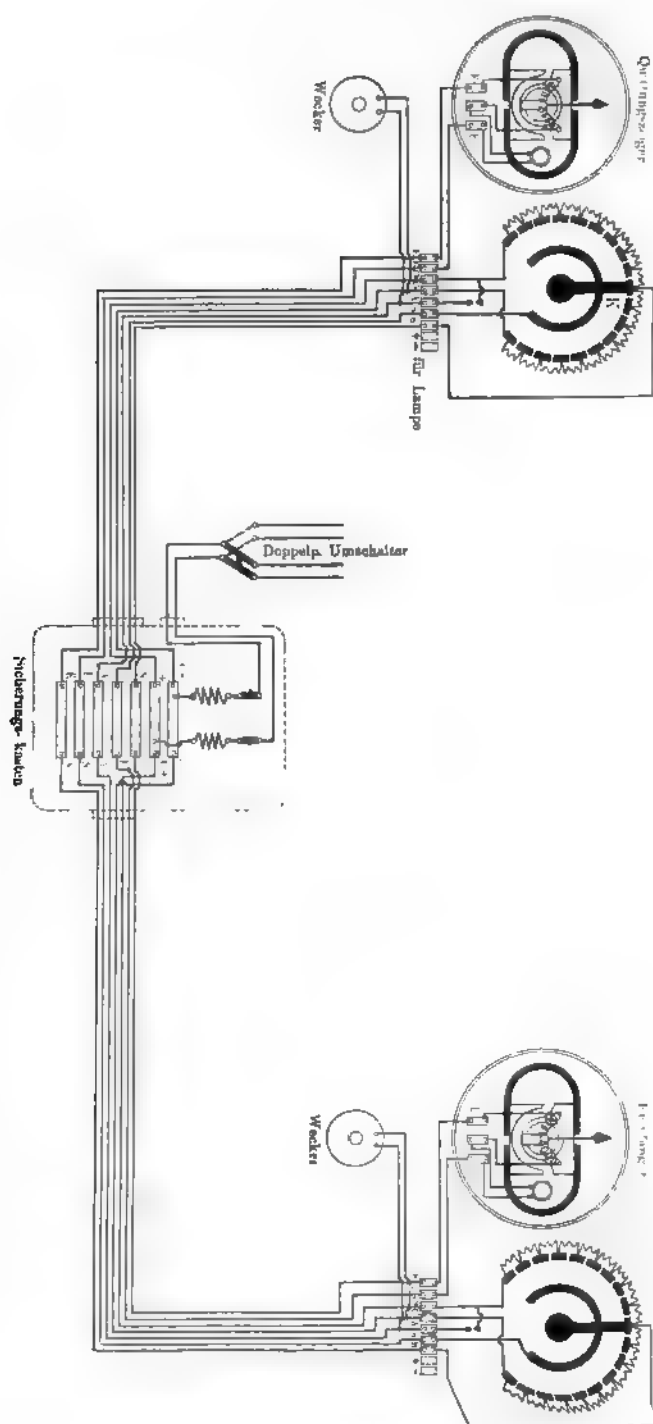
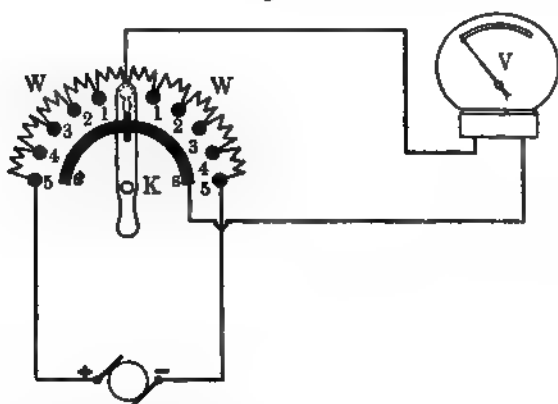


Fig. 505.

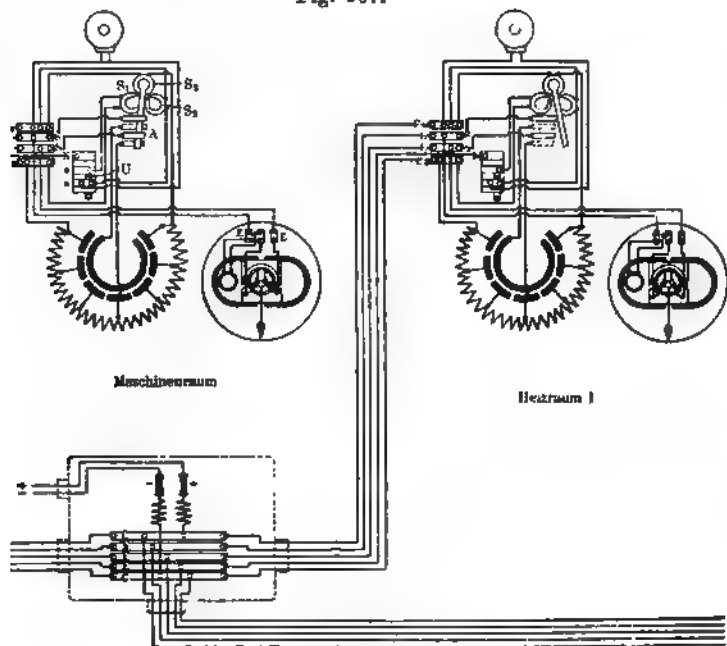
Bei den Maschinentelegraphen sind Schwankungen von 12 Proz. noch g. Im übrigen wird bei großen Anlagen, bei denen zahlreiche und Motoren angeschlossen sind, die Einfügung einer Pufferbatterie für die andoapparate, oder ein Gleichstromumformer diese Fehler beseitigen.

Fig. 506.



in modernen Kriegsschiffen sind derartige Batterien bereits seit längerer .ngeführt, und die Apparate zur Befehlsübertragung sind dadurch von ntrale unabhängig gemacht.

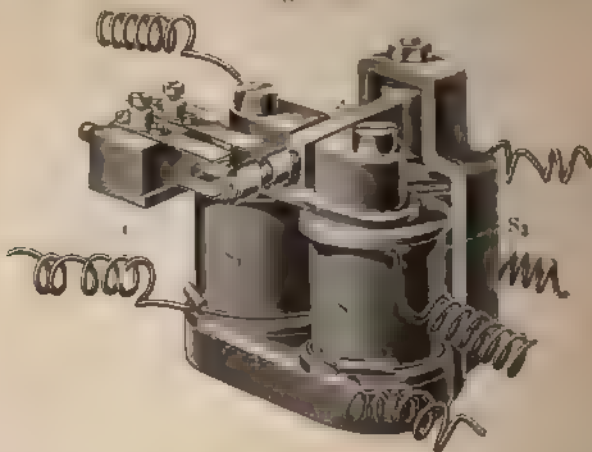
Fig. 507.





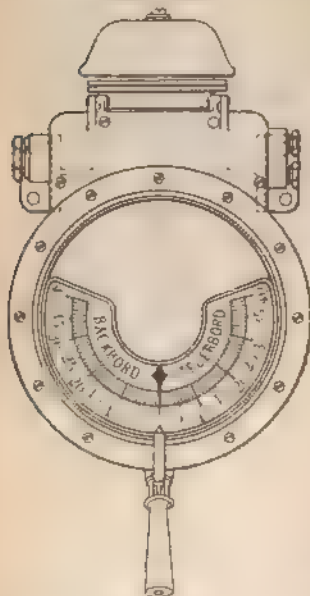
Die Arbeitsweise der Heizraum- und Kesseltelegraphen weicht von den Maschinen- und Steuertelegraphen insofern ab, als hier mehr

Fig. 508



als zwei Stationen miteinander verkehren sollen, und von jeder Station gleichzeitig allen übrigen Stationen das Signal übermittelt werden

Fig. 509.



muss. Das Kommando erscheint demnach an den Empfängern aller Stationen und verschwindet erst, wenn es durch ein neues ersetzt wird.

Die Schaltung einer solchen Anlage ist aus dem Schema Fig. 507 ersichtlich. Wir haben nur zwei Stationen miteinander verbunden, weitere Stationen können wie dies in der Fig. 507 angedeutet ist parallel hinzugeschaltet werden. Jeder Geber ist mit einer selbsttätigen Ein- und Ausschaltvorrichtung versehen, die bewirkt, dass alle Empfänger an den Apparat in der Geberstation angeschlossen werden. Zur Betätigung dieses Schalters dient ein Magnetaystem mit drei Spulen von denen die hintere  $S_1$  (Fig. 508) dauernd vom Strome durchflossen wird. Der Anker  $A$  wird also ständig angezogen und hierdurch in der Ein- und Ausschaltstellung eine gute Arretierung geschaffen, die nicht durch Stöße oder Erschütterungen, sondern allein durch Erregung der Spulen  $S_1$  (Einschaltspule) und  $S_2$  (Ausschaltspule) gelöst werden kann. Die Erregung der Spu-

ren, sondern allein durch Erregung der Spulen  $S_1$  (Einschaltspule) und  $S_2$  (Ausschaltspule) gelöst werden kann. Die Erregung der Spu-

der  $S_2$  wird durch den Umschalter  $U$  (Fig. 507) ausgeführt, der vom Geberhebel beim Übergang von einem zu einem anderen Kommando betätigt wird. In der Ruhelage des Geberhebels ist der Kontakt  $N$  des Umschalters mit dem Kontakte  $a$  beim Legen des Hebels mit dem Kontakte  $e$  verbunden. Der Strom in den Spulen verläuft von der  $C_+$ -Summe durch die Spule  $S_1$  der gebenden Station nach den Kontakten  $e$  und  $N$ , von hier durch die Leitungen nach den Kontakten  $N$  der empfangenden Stationen und in jeder Station weiter nach  $a$  und durch die Spule  $S_2$  nach  $C_-$ .

Durch die Erregung der Spule  $S_1$  der sendenden Station wird der mit dem Anker in Verbindung stehende doppelpolige Schalter  $U$  eingeschaltet, dagegen in den Empfangsstationen durch  $S_2$  ausgeschaltet.

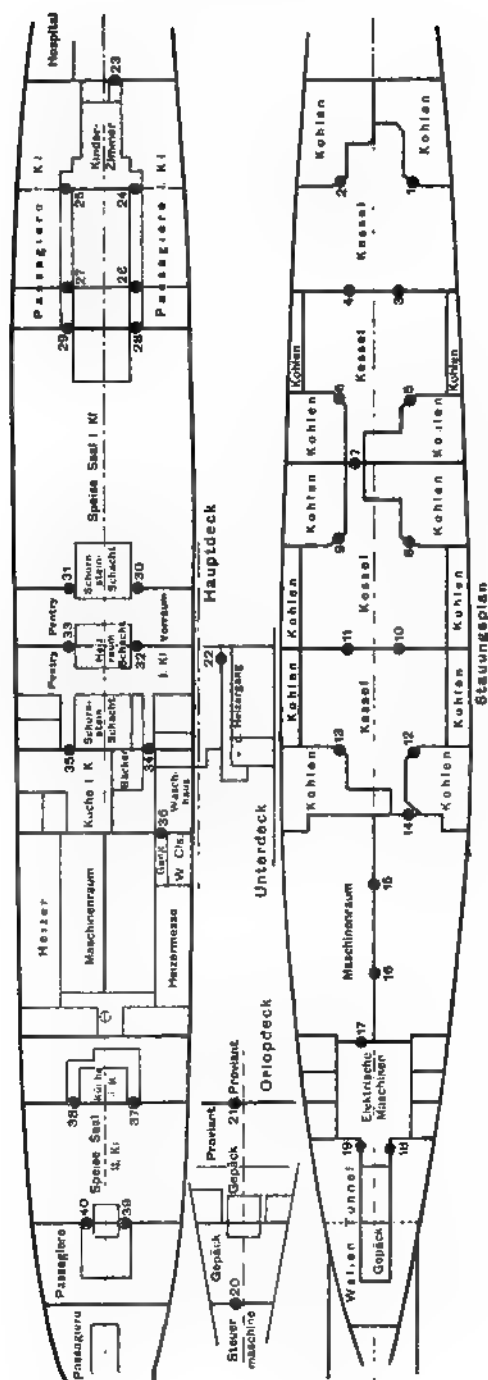
Alle Empfänger werden durch Schließen des doppelpoligen Schalters auf einer Station mit der Kontaktreihe des Widerstandes dieser Station verbunden. Die Übertragung des Kommandos erfolgt dann derselben Weise wie bei den Maschinentelegraphen (vergl. Fig. 506).

In Fig. 509 ist die äußere Form des elektrischen Rudertelegraphen der Union-Elektrizitätsgesellschaft dargestellt. Ähnlich sind auch die übrigen Kommandoapparate und Fernmelder ausgeführt.

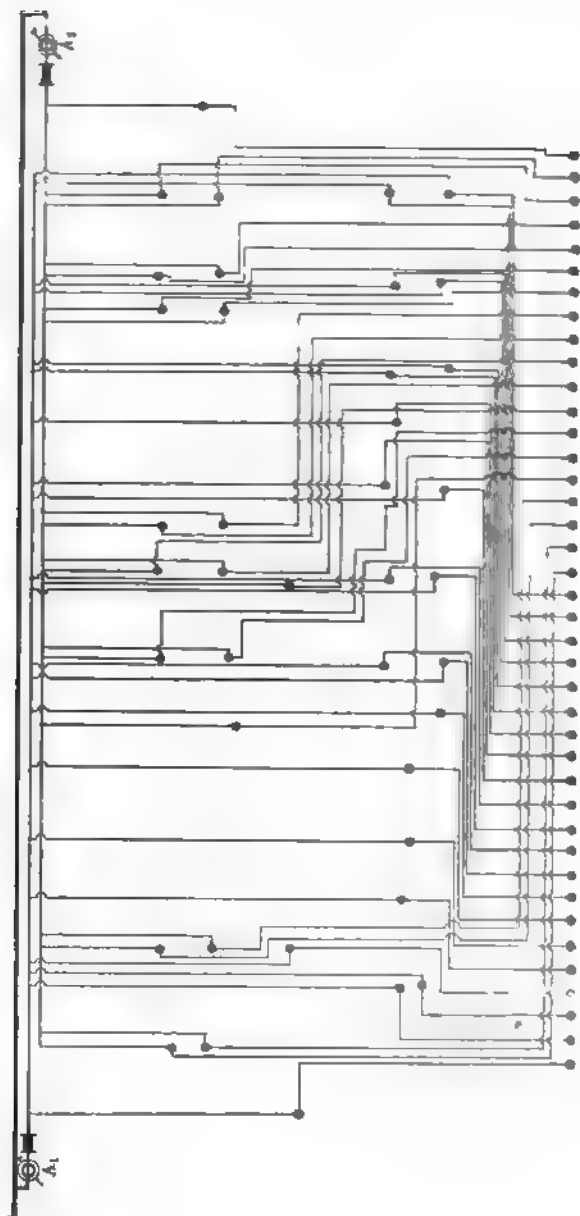
§ 155. Verschiedene Signalapparate. 1. Fernzeiger für Umlaufzähler. Eine kleine magnetoelektrische Dynamo wird von der Welle der zu überwachenden Maschine entweder durch Riemen oder Friktionsrad angetrieben. Da bei permanenten Magneten der magnetische Fluss  $\Phi$  durch den Anker konstant bleibt, so ist die induzierte E.M.K. (vergl. Gleichung 29) allein abhängig von der Umlaufszahl des Ankers. Wird dem Anker nur ein sehr schwacher Strom entnommen, so ist die Polklemmenspannung praktisch gleich der E.M.K. Die Spannungsdifferenz wird in dem Räume, wo die Kontrolle stattfindet, an einem Weston-Voltmeter abgelesen, dessen Skala jedoch nicht in Volt, sondern in Umläufe pro Minute geteilt ist. Die Ablesung kann an mehreren Stellen zu gleicher Zeit erfolgen. Da die Dynamo nur einen schwachen Strom für das Voltmeter liefert, und die Stromstärke nicht auch nur innerhalb enger Grenzen schwankt, so spielt die Ankerbewegung keine Rolle.

2. Kontrollapparat (Fig. 510) für wasserdichte Türen besteht sich aus der Kommandobrücke und läßt mit einem Blick erkennen, welche von den wasserdichten Türen in den Längs- und Querschotten offen oder geschlossen sind. Das Schottentableau (Fig. 510) enthält hinter einer Glasscheibe verteilt so viele elektrische Lampen, wie wasserdichte Türen vorhanden sind. Von jeder Tür führt eine Leitung nach dem Tableau zu der ihr entsprechenden Lampe. Ist die Tür geschlossen, so ist zugleich die von ihr ausgehende Leitung geschlossen, die zugehörige Lampe im Tableau ist eingeschaltet und beleuchtet die auf der Glaswand befindliche Zahl der betreffenden

Fig. 510.



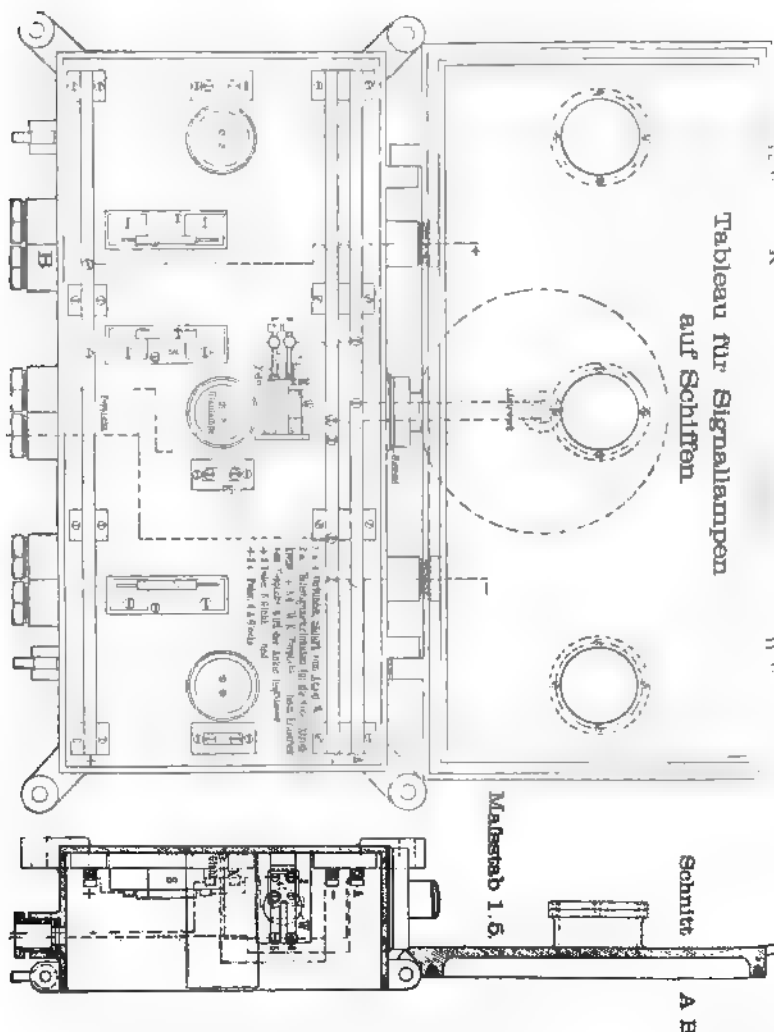
lichten Tür. Die innere Schaltung des Tableaus zeigt Fig. 311. Wenn die beiden Anschalter  $A_1$  und  $A_2$  geschlossen sind, zeigt parat an.  $A_1, A_2$  befinden sich neben dem Tableau und liegen



### 380 Kontrolllampen und Alarmvorrichtung für die Positionslaternen.

in der von der Dynamo kommenden Leitung; die unteren 40 Kont dienen zum Anschluß der Leitungen nach den einzelnen Türen be nach den an ihnen montierten Schaltern, die beim Schließen der von selbst den Strom schließen.

3. Kontrolllampen und Alarmvorrichtung für die Po tionslaternen. In Fig. 512 ist das Tableau für die Signallater (Seitenlichter, Topplicht) dargestellt. Sämtliche Apparate sind in ein



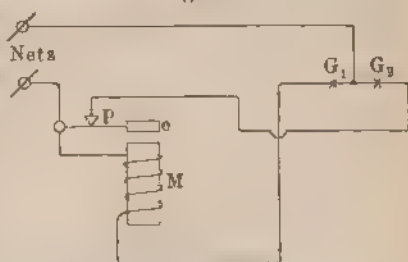
vollkommen wasserdichten Kasten montiert, der an der oberen Se das Läutwerk mit wasserdichtem Gehäuse trägt. Das Tableau befind

an auf der Kommandobrücke und trägt vorne 3 oder 4 runde farbige Scheiben (rot, grün, weiß), hinter denen im Gehäuse Glühlampen leuchten, wenn eine der Positionslaternen erlischt, wobei gleichzeitig die Signalglocke ertönt. Für das Topplicht sind die Verbindungen in Fig. 512 ausgeführt. Der Strom geht von der + -Schiene durch die Sicherung  $s$  nach den auf dem Anker des Magneten  $W$  befestigten, von ihm isolierten Schrauben 1 und 4, von hier durch die Spule des Magneten  $W$ , dann durch die Anschlussklemme  $K$  nach dem Topplicht und zurück zur negativen Schiene. Brennt der Kohlefaden der Glühlampe im Topplicht durch, so läßt der Magnet den federnden Anker los, und der Strom fließt von der Sicherung  $S$  nach der Schraube 4 dann nach 5 durch die zugehörige Glühlampe im Tableau und zurück von 6 aus durch den parallel geschalteten Stromweg, der das Tableau enthält. Das Tableau Fig. 512 ist von der Firma A. Nissen & Co., Hamburg, auf den großen Schnelldampfern des Norddeutschen Lloyd montiert.

Fig. 512a zeigt eine einfachere Schaltung der Glühlampen  $G_1$  und  $G_2$  der Positionslaternen der Dampfer. An Stelle von  $G_1$  und  $G_2$  kann auch eine Glühlampe mit doppeltem Kohlefaden verwendet werden.

Zunächst ist nur der eine Faden der Lampe  $G_1$  eingeschaltet, wenn Strom aus dem Netze durch die Spule des Magneten  $M$  zurückfließt, wodurch der Anker  $a$  weit angezogen wird, daß bei keine Verbindung vorhanden ist. Würde der Kohlefaden oder die Lampe  $G_1$  erlöschen, so verwindet der Strom in der Spule des Magneten  $M$ , der Anker schnellt zurück, wodurch bei  $p$  der Strom durch den zweiten Kohlefaden oder durch die Lampe  $G_2$  geschlossen wird.

Fig. 512a.



## Neunzehntes Kapitel.

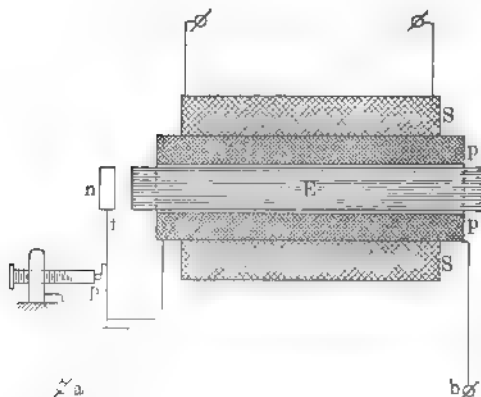
### Die Funkentelegraphie.

§ 156. Physikalische Grundlagen. Der Funkeninduktor. Nachdem Faraday (1831) die induzierten elektrischen Ströme entdeckt hatte, ist es bekannt, daß jeder in einem Leitungsdrahte fließende Strom beim Entstehen und Verschwinden, überhaupt bei jeder Änderung seiner Stärke, in einem benachbarten Leiter einen Induktionsstrom hervorbringt. Sendet man aus einer Batterie in eine Tele-

graphenleitung durch Öffnen und Schließen des Tasters Stromstöße, so werden in jeder an demselben Gestänge befestigten Leitung Ströme induziert, die mit einem Telephon durch das knackende Geräusch der Membran leicht nachgewiesen werden können. Durch Schließen des Batteriestromes werden um die Leitung Kraftlinien erzeugt, die sie in konzentrischen Kreisen (Kraftlinienwirbel) umgeben; beim Schließen verschwinden diese Kraftlinienwirbel wiederum. Liegen beide Leitungen auf der ganzen Strecke nahe genug beieinander, so ist die Induktionswirkung genügend groß, um mit dem Telephon die induzierten Ströme erkennen zu können.

Würde man im Abstände von einigen Metern zwei große Spulen aufstellen, so daß ihre Windungsfächen parallel sind, und würde man durch die eine der beiden, die primäre, einen Wechselstrom schicken, so würden in der zweiten (sekundären) Spule Wechselströme induziert, die deutlich mit dem Telephon wahrnehmbar sind. Würde der Wechselstrom für einen Moment oder für etwas längere Zeit in der primären Spule fließen, so würde man dementsprechend ein sehr kurzes oder ein etwas länger andauerndes Geräusch im Telephon, das an die sekundäre Spule angeschlossen ist, wahrnehmen. Durch solche Zeichen wird dann die Übertragung der Buchstaben in ähnlicher Weise durchführbar wie bei dem Morsschreibapparat durch Punkte und Striche. Hierbei handelt es sich schon um die Übermittlung telegraphischer Zeichen in

Fig. 513.



die Ferne, ohne daß der Sendeapparat und der Empfangsapparat durch eine Leitung miteinander verbunden sind. Die Entfernung jedoch, bei auf welche nach diesem Prinzip Zeichen übertragen werden könnten, wäre nur gering; auch würde über mäßige Entfernungen hinaus schon der Energieaufwand in dem Sendeapparat ganz außerordentlich groß sein.

Ein weit wirksameres Mittel der Übertragung von Zeichen durch den Luftraum hindurch haben wir in den Hertz'schen Wellen. Zur Erzeugung derselben benutzt man einen Induktor (Ruhmkorff'schen Funkeninduktor), der in der folgenden Weise konstruiert ist. Auf einem Eisenkern *E* (Fig. 513) aus dünnen, durch Asphaltnachstrich voneinander isolierten Eisendrähten ist zunächst eine primäre Spule *p* aus Kupferdraht geschoben. Diese wird mit einer gut isolierten

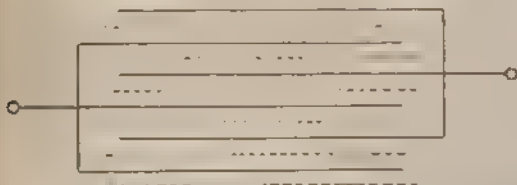


in Schicht bedeckt und dann mit dem Eisenkern in das Innere sekundären Spule  $ss$  aus sehr vielen Windungen eines feinen, lierten Kupferdrahtes gebracht (vergl. § 29). Fließt durch  $p$  Gleichstrom, der plötzlich unterbrochen wird, so tritt in  $ss$  ein Induktionsstrom auf; beim Unterbrechen des Stromes in  $pp$  erhalten wir einen Induktionsstrom, der den Eisenkern in derselben Richtung fließt wie der in  $p$  unterbrochene Gleichstrom. Wird der durch  $pp$  geschlossen, so entsteht in  $ss$  ein Induktionsstrom, Eisenkern im entgegengesetzten Sinne umfließt.

Die automatische Vorrichtung zum Öffnen und Schließen des Stromes dient meistens der Wagnersche oder Neef'sche Hammer. Die Vorrichtung ist gewöhnlich mit dem Funkeninduktor direkt verbunden. An der Feder (Fig. 513) ist das Eisenstück  $n$  befestigt. Die Platintaste  $t$  ruht bei ruhender Feder gegen ein auf der letzteren befestigtes Lättchen. Verbindet man die Polklemmen  $a$  und  $b$  mit einer Zelle, so fließt der Strom über  $p$  durch die primäre Spule, wodurch der Eisenkern der Anker  $n$  angezogen wird. Hierbei findet an der Spitze eine Stromunterbrechung statt, infolgedessen schwingt der Anker zurück, und es erfolgt ein neuer Stromschluß durch  $p$  u. s. f. Die Unterbrechung des primären Stromes bei  $p$  ist von einer lebhaften Funkenbildung begleitet, und der beim Öffnen des primären Stromes in  $p$  entstehende Selbstinduktionsstrom verzögert durch diese Funkenbildung das Verschwinden des Kraftflusses im Eisenkern. Der beim Öffnen des primären Kreises entstehende Selbstinduktionsstrom — Funkenstrom — hat mit dem primären Strome gleiche Richtung. Die Verminderung der Funkenbildung geschieht dadurch, daß man zwei Punkte zu beiden Seiten der Funkenstrecke mit den Belegungen eines Kondensators verbindet, der meist im Fuß des Induktors untergebracht ist und die durch den Öffnungsstrom bewegte Elektrizitätsmenge in sich aufnimmt, um sie bei der folgenden Schließung des primären Stromes wieder herauszu-

geben. Der Kondensator nimmt, wie die Leydener Flasche, elektrische Ladung in sich auf. Er besteht aus einer großen Zahl fest zusammenge-

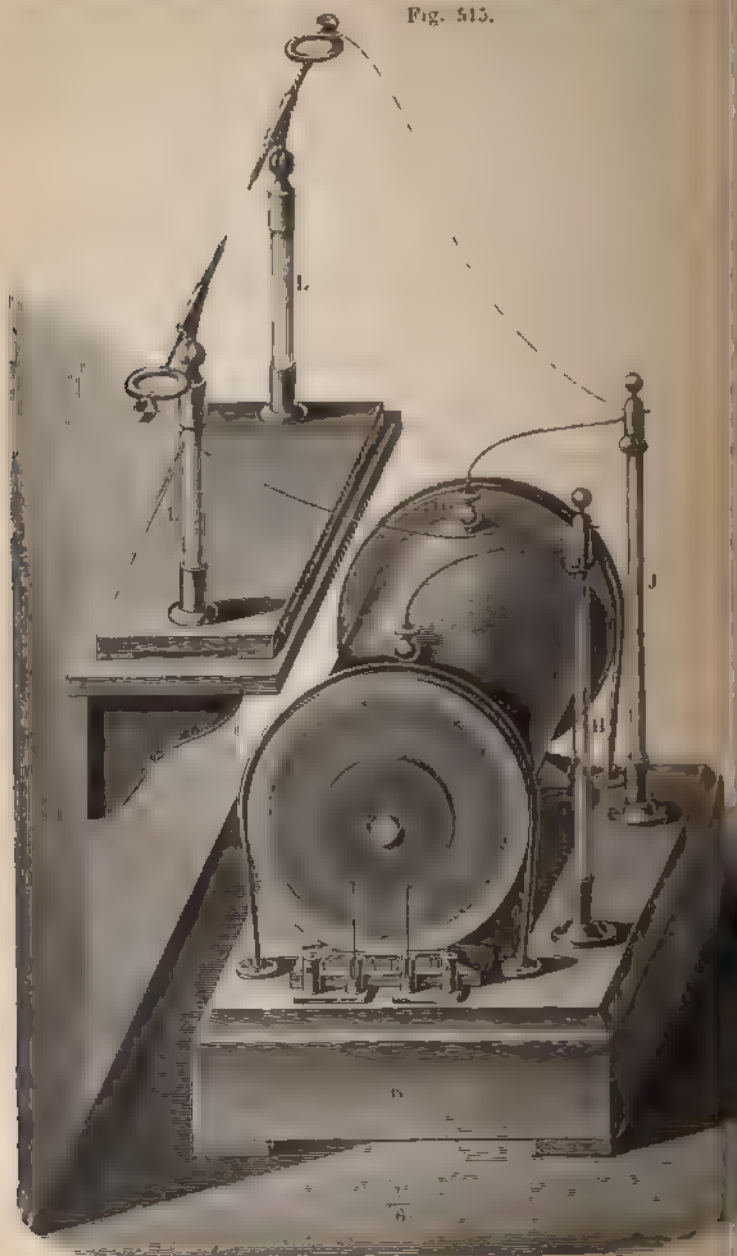
Fig. 514.



Stanniolblätter, die durch Blätter aus mit Paraffin getränktem Papier durch Glimmerscheiben oder andere Isolationsmittel voneinander

getrennt sind. Die isolierenden Blätter (Fig. 514) sind dabei so groß, sie genügend weit zum Zwecke der Isolation über den Rand der St.

Fig. 515.



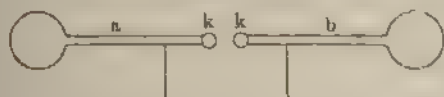
Blätter hinaustragen, die abwechselnd mit der einen und mit der anderen Polklemme des Kondensators verbunden sind. Fig. 514 stellt schematisch die Anordnung der Stanniolblätter dar. Die beiden Polklemmen des Kondensators sind dann mit zwei Punkten zu beiden Seiten der Funkenstrecke bei  $p$  (Fig. 513) verbunden.

Fig. 515 stellt einen großen Funkeninduktor dar. Fließt durch die primäre Spule desselben intermittierender Gleichstrom, so ist die in der sekundären Spule hervorgerufene Spannung infolge der großen Windungszahl so hoch, daß der Ausgleich der Spannungsdifferenz in der Form eines langen Funkens zwischen den Polen der Sekundärspule vor sich geht. Der Funkeninduktor ist ein Transformator, der den intermittierenden Gleichstrom der primären Spule in Ströme wechselnder Richtung, die in der sekundären Spule entstehen, umformt.

Wir haben bereits in § 30 darauf hingewiesen, daß der primäre Strom nicht augenblicklich zu seiner vollen Stärke infolge der Selbstinduktion ansteigen kann, weil beim Schließen des primären Stromes ein Schließungsextrastromstoß entsteht, der dem primären Strom entgegen gerichtet ist. Dagegen sinkt bei Anwendung eines guten Kondensators der primäre Strom beim Öffnen sehr rasch auf Null. Aus diesem Grunde ist auch die beim Öffnen des primären Stromes in der sekundären Spule induzierte Spannung meistens erheblich höher als die beim Schließen des primären Stromes induzierte. Die Funkenlänge oder Schlagweite ist also wesentlich durch die Wirkung des primären Stromes beim Öffnen bestimmt.

§ 157. Die elektromagnetischen Wellen. Der Kohärer.  
Verbindet man die Polklemmen der sekundären Spule mit zwei Me-

Fig. 516.



talstäben  $a$  und  $b$  (Fig. 516), die an ihren einander zugekehrten Enden zwei kleinere Metallkugeln tragen, an den anderen Enden größere Metallkugeln, so entstehen zwischen den kleinen Kugeln Wechselströme von sehr hoher Schwingungszahl. Die genaue, von Feddersen zuerst ausgeführte Untersuchung des in diesem Apparate auftretenden Entladungsfunkens der sekundären Spule hat gezeigt, daß der mit unserem Auge wahrzunehmende einzelne Entladungsfunk in Wirklichkeit aus einer großen Zahl sehr schneller, in wechselnder Richtung vor sich gehender Entladungen und Entladungsfunkens besteht. Wir erhalten also zwischen den Kugeln  $kk$  Entladungen wechselnder Richtung — oszillierende Entladungen — von sehr geringer Schwingungsdauer. Hervorzuheben ist, daß die durch die

Entladung erzeugten Wechselströme nicht eine geschlossene Bahn durchlaufen, sondern in dem aus den beiden Kugeln *kk* mit den Metallstäben *a* und *b* bestehenden Entladungssystem hin- und herpendeln. Sind die Metallstäbe *a* und *b* ein Meter lang, und haben die Kugeln *kk* einen Durchmesser von 6 mm, während die großen Kugeln den Durchmesser 50 mm haben, so beträgt die Zahl der Entladungen bereits mehrere Millionen in der Sekunde.

Heinrich Hertz hat durch seine berühmten Versuche (1889) den Nachweis geliefert, daß die oscillierenden Entladungen der Funkenstrecke im Raume transversale Wellen erzeugen, d. h. Wellen, bei denen die Schwingungsrichtung senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung liegt. Die Wellen verhalten sich in physikalischer Hinsicht wie die Lichtwellen. Die Funkenstrecke ist der Ausgangspunkt elektromagnetischer Wellen oder Strahlen elektrischer Kraft, die sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes von 300 000 km in der Sekunde fortpflanzen und deren Reflexion und Brechung nach denselben Gesetzen erfolgt, denen die Lichtstrahlen unterworfen sind. Der Unterschied zwischen den Lichtätherwellen und den elektromagnetischen Wellen besteht nur darin, daß die ersteren höchstens eine Wellenlänge von 0,0008 mm haben und ihre Schwingungszahlen je nach der Farbe zwischen 400 und 763 Billionen in der Sekunde liegt, während die letzteren Wellen haben, deren Länge zwischen einigen Centimetern und mehreren hundert Metern schwankt und deren Schwingungszahlen demgemäß zwischen einer Million und zehntausend Millionen ( $10^{10}$ ) liegen. Die Lichtwellen sind also außerordentlich klein, so daß auf 1 mm des Weges der roten Lichtstrahlen etwa 1315 Wellen kommen. Wie das Licht von einer Lichtquelle aus sich nach allen Richtungen mit derselben Geschwindigkeit ausbreitet, so gehen auch von der Funkenstrecke die elektromagnetischen Wellen nach allen Richtungen aus. Durch die Isolatoren gehen die elektromagnetischen Wellen ungestört hindurch wie die Lichtwellen durch die durchsichtigen Körper. Von den leitenden Körpern, von Metallflächen, werden die elektromagnetischen Wellen jedoch entweder reflektiert oder absorbiert.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, daß man die elektromagnetischen Wellen als Lichtstrahlen von großer Wellenlänge oder die Lichtstrahlen als elektromagnetische Wellen von sehr geringer Wellenlänge ansehen kann (Maxwells elektromagnetische Lichttheorie.) Die strahlende Wärme, das Licht und die elektromagnetischen Wellen sind ihrem Wesen nach Schwingungen des sogenannten Lichtäthers. Die Unsichtbarkeit der elektromagnetischen Wellen liegt nicht in dem Wesen dieser Strahlen begründet, sondern in der Beschaffenheit unseres Auges, das nur befähigt ist, den Eindruck von Ätherwellen, deren Länge zwischen 390 (violetttes Licht) und 760 (rotes Licht) Millionstel eines Millimeters liegt, wahrzunehmen. Auch ist das Auge nicht befähigt, den Eindruck der Wärmestrahlen, deren Wellenlängen größer als 760 Millionstel Millimeter sind, aufzunehmen; zur Wahrnehmung dieser Strahlen dient nur der Gefühlsinn.

Auf die Hertz'schen Untersuchungen des Nachweises und der



elektromagnetische Wellen. Als Sendeapparat (Fig. 518) dient die Funkenstrecke  $f$  in Verbindung mit einem isolierten, ins Freie ragenden Kupferleiter, der an die eine der beiden Kugeln  $kk$  angeschlossen ist, während die andere mit der Erde leitend verbunden wird.  $p$  und  $s$  sind bezw. die primäre und sekundäre Spule des Funkeninduktors. Durch den Schlüssel  $S$  kann die Funkenstrecke für längere oder

Fig. 518.

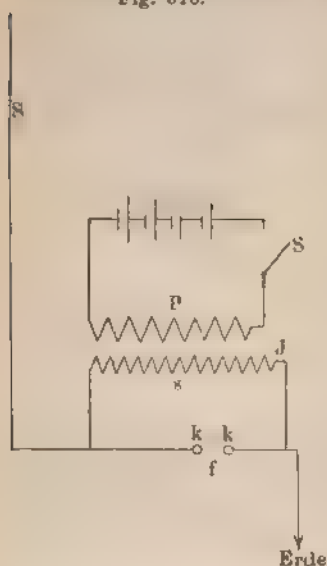
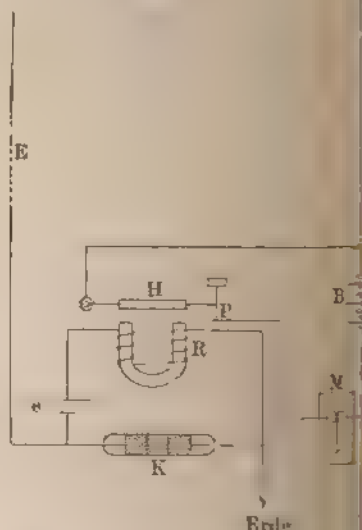


Fig. 519.



kurze Zeit hergestellt werden, so daß Zeichen gegeben werden können, die den Punkten und Strichen des Morsealphabetes entsprechen. an die Kugeln, die den Oscillator bilden, angeschlossene Sendestrahlstrahl beim Auftreten eines Funkens demnach für längere oder kürzere Zeit elektromagnetische Wellen aus, die im Raume nach allen Richtungen sich ausbreiten. Fig. 519 stellt schematisch die Einrichtung der zugehörigen Empfangsstation dar. Der Kohärer  $K$  liegt mit einem Elektromagneten  $R$  (Relais) im Stromkreise des Elementes  $c$ . Das eine Ende des Kohäriers ist mit dem Empfangsdrahte  $E$  verbunden, von gleicher Höhe mit dem Sendendraht an einem Maste im Freifeld befestigt ist. Das andere Ende des Kohäriers ist mit der Erde leitend verbunden. Solange  $E$  keine elektromagnetischen Wellen aufnimmt, ist der Widerstand des Kohäriers so groß, daß in den Spulen des Relais nur ein sehr schwacher oder überhaupt kein Strom fließt, auch nicht der Anker  $H$  angezogen werden kann. Nimmt  $E$  elektromagnetische Wellen auf, so steigt das Leitungsvermögen des Kohäriers, und  $H$  wird angezogen, wodurch bei  $p$  der Stromkreis einer Elementar- oder Morsebatterie geschlossen wird, in dem auch ein Morsecschreibapparat





# REGISTER.

---

## A.

Abschmelzsicherung 310.  
 Absolutes Maßsystem 5.  
 Achse, magnetische 2.  
 Akkumulator 220.  
 Ampère, Definition 16.  
 Ampèrewindungen 37.  
 Anker 64.  
 —, E. M. K. desselben 67  
 Ankerbüchse 79.  
 Ankernern 79.  
 Ankerkörper 79.  
 Ankerrückwirkung 105.  
 Ankerspule 73.  
 Ankerstern 79.  
 Ankerstromzweige 67.  
 Ankerwelle 79.  
 Ankerwicklung 65, 79.  
 Ankerwiderstand 267.  
 Anlasser für Nebenschlußmotoren 122,  
 150.  
 Anlasser für Drehstrommotoren 208.  
 Anode 14.  
 Anschlußdose 317.  
 Äquivalent, elektrochemisches 16.  
 Asynchronmotor 202.  
 Ausgleichsleitung 323.  
 Ausschalter 303.  
 Außenpolmaschine 103, 176.

## B.

Barlowsches Rad 62.  
 Beruhigungswiderstand 248.  
 Betriebsspannung 90, 264.  
 Bleikabel 295.  
 Bogenlampen 250.  
 Bremer-Bogenlampe 254.  
 Bremsen 154.  
 Bunsensches Element 220.  
 Bürsten 85.  
 Bürstenbrücke 86.  
 Bürstenspannung 67.  
 Bürstenstellung 103.

## C.

Charakteristik der Dynamo 93.  
 Coulomb, Definition 15.  
 Coulombsches Gesetz 5.

## D.

Dampfmaschinen 277.  
 Dampfturbinen 283.  
 Daniellsches Element 218.  
 Dauerbrandlampe 253.  
 Dauermagnet 1.  
 Differentialbogenlampe 249.  
 Dochkohle 244.  
 Doppelbürsten 277.  
 Doppelmaschinen 264.  
 Doppelschlußdynamo 88, 97.  
 Doppelstreuer 262.  
 Drehfeld 193, 199.  
 Drehknopfausschalter 304.  
 Drehstrom 183, 200.  
 Drehstromdynamo 190, 336.  
 Drehstrommotor 192, 202.  
 Dreieckschaltung 187.  
 Dreileitersystem 320.  
 Dreiphasendynamo 183, 187.  
 Dreischaltungslampe 254.  
 Dynamo 83.  
 —, Aufstellung 265.  
 —, Behandlung 289.  
 —, Leistung 265.  
 —, Prüfung 266.  
 —, Störungen 292.  
 Dynamoelektrisches Prinzip 89.  
 Dyne 5.

## E.

Effektive Stromstärke 163.  
 Einheitspol 5.  
 Elektrochemisches Äquivalent 16.  
 Elektroden 13.  
 Elektrodynamometer 165.  
 Elektrolyse 13.



Lichtbogen 244.  
 Lichtstärke 239.  
 Lochanker 81.  
 Lösbarkeit 319.

**M.**

Magnet, Eigenschaften 1.  
 Magnetische Achse 2.  
 Magnetisches Drehfeld 168.  
 Magnetisches Feld 7, 35.  
 Magnetische Hysteresis 44.  
 Magnetische Induktion 2, 10, 37.  
 Magnetischer Kreis 9, 41, 99.  
 Magnetische Kraftlinien 6.  
 Magnetische Schirmwirkung 10.  
 Magnetisches Streufeld 44.  
 Magnetischer Widerstand 41.  
 Magnetisierende Kraft 37.  
 Magnetisierungsarbeit 44.  
 Magnetisierungskurve 40.  
 Magnetismus 1.  
 Magnetismus, remanenter 45.  
 Magnetismusmenge 4.  
 Magnetmaschinen 86.  
 Magnetmotor 113.  
 Magnetoelektrische Maschinen 86.  
 Magnetomotorische Kraft 41.  
 Magnetpole 2.  
 Manteltransformator 215.  
 Maschinentelegraph 366.  
 Mehrphasendynamo 183.  
 Mehrphasenwickelungen 183.  
 Meidingersches Element 219.  
 Metallbürsten 85.  
 Mikrophon 359.  
 Milli-, Volt- und Ampèremeter 45.  
 Minimalausschalter 255.  
 Minimumausschalter 329.  
 Molekularmagnet 3.  
 Motor 64.  
 Motorgenerator 317.  
 Multiplikator 32.

**N.**

Nebenschluß 47.  
 Nebenschlußbogenlampe 247.  
 Nebenschlußdynamo 87, 89.  
 Nebenschlußelektromotor 118.  
 Nebenschlußregulator 91.  
 Nernst-Lampe 242.  
 Normalkerze 239.  
 Normalkupfer 294.  
 Nutzleistung der Dynamo 63.  
 — des Motors 64.

**O.**

Ohm, Definition 19.  
 Ohmsches Gesetz 17.  
 Osmiumlampe 243.

**P.**

Panzerdraht 296.  
 Parallelregulator 130.  
 Parallelschaltung 27, 819.  
 Parallelschaltung der Dynamos 1.  
 Periode 162.  
 Permeabilität 9.  
 Phase 162.  
 Phasenanker 204.  
 Phasenspannung 186.  
 Photometer 240.  
 Polarisation 217.  
 Pole des Magneten 2.  
 Polklemme 11.  
 Polklemmenspannung 11.  
 Polresgenpapier 15.  
 Polstärke 5.  
 Präzisionsvoltmeter 48.

**R.**

Regulator für Dampfmaschinen 379.  
 Rheostat 23.  
 Ringanker 64, 75.  
 Ringleitung 348.  
 Rudertelegraph 366.

**S.**

Sammler 220.  
 Schablonenwicklung 82.  
 Schaltbrett 337.  
 Scheinwerfer 257.  
 Schiffschlußprüfer 351.  
 Schleifenwicklung 72.  
 Schleifringanker 204.  
 Schlüpfung 195.  
 Schlüpfungsverhältnis 195.  
 Schottstopfbüchse 301.  
 Sekundärelement 221.  
 Selbsterrregung 87.  
 Selbstinduktion 59, 167.  
 Selbstinduktionskoeffizient 172.  
 Seriadynamo 87.  
 Serienmotor 127.  
 Serienschaltung 319.  
 Sicherung 310.  
 Sicherungskasten 315.  
 Silbervoltmeter 15.  
 Solenoid 35.  
 Spannungsdifferenz 11, 20.  
 Spannungsmessung 49.  
 Spannungsverlust 303, 347.  
 Spiraldübel 298.  
 Spiralwicklung 65.  
 Stabwicklung 82.  
 Ständer 204.  
 Sternschaltung 185, 189.  
 Streufeld 44.  
 Stromdichte 31.

Indikator 313.  
 Messer 16, 48.  
 Richtung 11.  
 Richtungsanzeiger 329.  
 Spule 35.  
 Stärke 12, 163.  
 Verzweigung 27.  
 Wärme 31.

# T

au 357.  
 hon 358.  
 Konstation 362.  
 Temperaturkoeffizient des elektrischen  
 Widerstandes 24.  
 Transformator 213, 317.  
 Lampe 254.  
 Element 220.  
 Ankere 69, 77.

# U

Umschaltzähler 377.  
 mer 213.  
 mer, rotierender 317.  
 Transformator 125.  
 Alter 307.  
 Umverhältnis 214.  
 Umrüstung der Drehstrommotoren

# V

Umschaltung elektrischer Energie 317.  
 Umrüstungskasten 314.

Volt, Definition 20, 58.  
 Voltaschen Element 10, 216.

# W

Watt 31.  
 Wattmeter 173.  
 Wechselfeld 196.  
 Wechselpoltype 176.  
 Wechselströme 159.  
 Wechselstrominduktor 354.  
 Wechselstromlichtbogen 245.  
 Wechselstromtransformator 213.  
 Wechselstromwecker 354, 356.  
 Wellenwicklung 74.  
 Wendeanlasser 125.  
 Westinghouse-Dampfmaschine 281.  
 Weston-Strommesser 45, 340.  
 Wheatstonesche Brücke 29.  
 Wickelungselement 72.  
 Wicklungsfeld 70.  
 Wicklungsschritt 70.  
 Widerstand, elektrischer 18, 23, 184.  
 —, spezifischer 19.  
 Widerstandseinheit 18.  
 Wirbelstrombremsen 157.  
 Wirbelströme 61.  
 Wirkungsgrad der Dynamo 22.  
 —, optischer 246.

# Z

Zackenwicklung 176.  
 Zahnanker 31.  
 Zellschalter 228, 233.  
 Zweileitersystem 390.  
 Zweiphasendynamo 148.

NEW  
CITY  
1900

Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

## Die Schiffsmaschinen,

ihre Konstruktionsprinzipien, sowie ihre Entwicklung und Anordnung.

Nebst einem Anhang: Die Indikatoren und die Indikatordiagramme  
nach gesetzlichen Bestimmungen, betreffend Anlage, Betrieb und Unterwuchung  
von Schiffsdampfmaschinen (Auszug).

Ein Handbuch für Maschinisten und Offiziere der Handelsmarine,

bearbeitet von

**W. Müller,**

Ingenieur

zweite, teilweise veränderte und erweiterte Auflage. Mit 150 ein-  
gedruckten Abbildungen. 8. Preis geh. 5 M., geb. 5,75 M.

## Elektrotechnik in Einzel-Darstellungen.

Herausgegeben von Dr. G. Benischke.

Erstes Heft. Die Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik gegen  
atmosphärische Entladungen von Dr. Gustav Benischke. Mit 43  
eingedruckten Abbildungen. gr. 8. Preis geh. 1,20 M., geb. 1,60 M.

Zweites Heft. Der Parallelbetrieb von Wechselstrommaschinen von  
Dr. Gustav Benischke. Mit 43 eingedruckten Abbildungen. gr. 8.  
Preis geh. 1,20 M., geb. 1,60 M.

Drittes Heft. Die Grundgesetze der Wechselstromtechnik von  
Dr. Gustav Benischke. Mit 113 eingedruckten Abbildungen. gr. 8.  
Preis geh. 3,60 M., geb. 4,20 M.

Dr. Joh. Müller's

## Grundriss der Physik

mit besonderer Berücksichtigung von Molekularphysik,  
Elektrotechnik und Meteorologie

für die oberen Klassen von Mittelschulen, sowie für den elementaren  
Unterricht an Hochschulen und zum Selbstunterrichte bearbeitet

von Prof. Dr. O. Lehmann,

ord. Prof. Hofrath, Ritter des bayerischen Löwenordens 1. Klasse, Direktor des physikalischen  
Instituts der technischen Hochschule in Karlsruhe.

Vierzehnte völlig umgearbeitete Auflage. Mit 810 Abbildungen  
und zwei Tafeln. gr. 8. Preis geh. 7,50 M., geb. 8 M.

## Anleitung zur

## Aufstellung von Wettervorhersagen

für alle Berufsklassen, insbesondere für Schule und Landwirtschaft  
gemeinverständlich bearbeitet

von Prof. Dr. W. J. van Bebbber,

Abteilungs-Vorstand der Deutschen Seewarte.

Mit 16 eingedruckten Abbildungen. gr. 8. geh. Preis 0,60 M.

Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

## Leitfaden der Wetterkunde.

Gemeinverständlich bearbeitet von

**Dr. R. Börnstein,**

Professor an der Königl. landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin.

Mit 52 Abbildungen und 17 Tafeln. gr. 8. Preis geh. 5 *M.*, geb. 6 *M.*

**Ad. Wernicke's**

## Lehrbuch der Mechanik

in elementarer Darstellung mit Anwendungen und Übungen aus den  
Gebieten der Physik und Technik.

In zwei Theilen. gr. 8.

**Erster Teil. Mechanik fester Körper.** Von Prof. Dr. Alex. Wernicke.  
Vierte völlig umgearbeitete Auflage. Mit eingedruckten Abbildungen.

Erste Abteilung. Einleitung. — Phoronomie. — Lehre vom materiellen Punkte. Preis geh. 4 *M.*, geb. 4,60 *M.*

Zweite Abteilung. Statik und Kinetik des starren Körpers. Preis geh. 6 *M.*, geb. 6,60 *M.*

**Zweiter Teil. Flüssigkeiten und Gase.** Von Dozent Richard Vater.

Dritte völlig umgearbeitete Auflage. Mit 234 eingedruckten Abbildungen. Preis geh. 5 *M.*, geb. 5,60 *M.*

(Erster Teil, dritte Abteilung unter der Presse.)

---

## Der Schall

von John Tyndall, D. C. L., L. L. D., F. R. S.,

Professor der Physik an der Royal Institution von Gross-Britannien

Autorisirte deutsche Ausgabe nach der sechsten englischen Auflage  
des Originals bearbeitet von

**A. v. Helmholtz und Cl. Wiedemann.**

Dritte Auflage. Mit 204 Holzschnitten. 8. Preis geh. 10 *M.*, geb. 11,50 *M.*

---

## Elektricität und Licht.

Einführung in die messende Elektricitätslehre und Photometrie

von **Dr. O. Lehmann,**

Grossh. Bad, Hofrath und Professor an der technischen Hochschule in Karlsruhe

Mit 220 Holzschnitten und 3 Tafeln. gr. 8. geh. Preis 7 *M.*

---

## H. W. Vogel's Photographie.

Ein kurzes Lehrbuch für Fachmänner und Liebhaber

bearbeitet von

**Dr. E. Vogel.**

Mit eingedruckten Abbildungen und Tafeln. gr. 8. Preis geb. 2,50 *M.*



Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

## Die internationalen absoluten Maße insbesondere die electrischen Maße

für Studierende der Electrotechnik in Theorie und Anwendung dargestellt und durch Beispiele erläutert von

**Dr. A. von Waltenhofen,**

K. K. Hofrath und emerit. Professor an der Universität in Innsbruck und an den technischen Hochschulen in Prag und Wien etc.

Dritte zugleich als Einleitung in die Electrotechnik bearbeitete Auflage.

Mit 42 eingedruckten Figuren. gr. 8. Preis geh. 8 M., geb. 9 M.

---

## Lehrbuch der Physik.

Von **O. D. Chwolson,**

Prof. ord. an der Kaiserl. Universität zu St. Petersburg.

**Erster Band.**

Einleitung. — Mechanik. — Einige Messinstrumente und Messmethoden. — Die Lehre von den Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern.

Uebersetzt von **H. Pflaum**, Oberlehrer in Riga.

Mit 412 eingedruckten Abbildungen. gr. 8. Preis geh. 12 M., geb. 14 M.

---

## Das Licht. Sechs Vorlesungen von John Tyndall.

Autorisirte deutsche Ausgabe bearbeitet von  
**Clara Wiedemann.**

Mit einem Vorwort von **G. Wiedemann.**

Zweite Auflage. Mit einem Portrait von **Thomas Young** und 57 Holzschnitten. 8. Preis geh. 6 M., geb. 7,50 M.

---

## Die Physik

in gemeinverständlicher Darstellung für höhere Lehranstalten, Hochschulen und zum Selbststudium von

**Dr. Friedrich Neesen,**

Professor an der vereinigten Artillerie- und Ingenieur-Schule und an der Universität Berlin.

Mit 284 in den Text eingedruckten Abbildungen und einer Spektraltafel.  
gr. 8. Preis geh. 3,50 M., geb. 4 M.

---

## Wellenlehre und Schall.

Von **W. C. L. van Schaik.**

Autorisirte deutsche Ausgabe bearbeitet von  
**Professor Dr. Hugo Fenkner.**

Mit 176 in den Text eingedruckten Abbildungen.  
gr. 8. Preis geh. 8 M., geb. 9 M.

Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig.

## **Sichtbare und unsichtbare Bewegungen.**

**Vorträge,**

auf Einladung des Vorstandes des Departements Leiden, der Maatschappij tot nut van 't Algemeen im Februar und März 1901

gehalten von

**H. A. Lorentz.**

Unter Mitwirkung des Verfassers aus dem Holländischen übersetzt von

**G. Siebert.**

Mit 40 Abbildungen. gr. 8. Preis geh. 3 Mk., geb. 4 Mk.

## **Physikalisches Praktikum**

mit besonderer Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Methoden von

**Eilhard Wiedemann und Hermann Ebert.**

Vierte verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 688 eingetragenen

Abbildungen. gr. 8. Preis geh. 10 Mk., geb. 11 Mk.

## **Die Sicherungen von Schwach- und Starkstrom-Anlagen**

gegen die Gefahren der

**atmosphärischen Elektrizität**

von **Dr. Friedrich Neesen,**

Professor an der vor. Artillerie- und Ingenieurschule und an der Universität Bonn.

Mit 121 Abbildungen. gr. 8. Preis 5 Mk.

## **Die Erdströme**

im Deutschen Reichstelegraphengebiet

und ihr Zusammenhang mit den erdmagnetischen Erscheinungen.

Auf Veranlassung und mit Unterstützung des Reichs-Postamts sowie der

Versammlung der Königlich preussischen Academie der Wissenschaften

im Auftrage des Erdstrom-Comités des Elektrotechnischen Vereins

herausgegeben und

**Dr. B. Weinstein,**

Kaiserlicher Regierungsrath und General der Professoren

Mit einem Atlas, enthaltend 16 lithographische Tafeln. gr. 8. geh. Preis 4 Mk.

## **Die elektrische Minenzündung**

und deren Anwendung in der civilen Sprengtechnik

von

**Karl Zickler.**

Lehrer an der Königl. technischen Hochschule zu Karlsruhe. Herausg. des V. d. E. T. V.

Mit 100 Abbildungen. gr. 8. Preis 3 Mk.





